



Universidad
Carlos III de Madrid

PROYECTO FIN DE GRADO

APLICACIÓN MÓVIL PARA LA DETECCIÓN DE PASOS BASADA
EN ACELEROMETRÍA A BAJA VELOCIDAD

Autor: Víctor Labrado Vicente

Tutor: Mario Muñoz Organero

Leganés, Junio 2017



Resumen

Durante las últimas décadas el uso de la tecnología ha aumentado de manera exponencial, y esto ha afectado a todos los aspectos de la sociedad, incluida la sanidad.

El ámbito de la medicina ha recibido significativos avances en las últimas décadas. A finales de los 70 se produjo uno de los mayores avances con la llegada de la Tomografía Axial Computarizada (TAC). En los ochenta se comenzaron a usar las Resonancias Magnéticas (RM), con lo que se consiguió una imagen de mucha más calidad del cuerpo humano. En los años 2000 internet se volvía accesible a la mayoría de las personas, como consecuencia de esto el conocimiento biomédico quedaba accesible para la mayor parte de la población, gracias a esto los pacientes y familiares se han vuelto capaces de conocer detalles de los diversos procesos médicos. Esto ha generado a día de hoy lo que se conoce como “paciente experto”. El ciudadano que está informado sobre la salud integral (física, psíquica y social) y el manejo de enfermedades crónicas (obesidad, diabetes, cardiopatías...) [1].

Recientemente, con la invasión de los smartphones en nuestras vidas hemos acuñado un nuevo termino: salud móvil o *mHealth*, esto se refiere a las aplicaciones móviles relacionadas con la salud, gracias a ellas la sanidad puede llegar a todos los rincones del mundo (“*everywhere, every time, everyone*”), como es señalado en el informe de PwC de 2012 [2] en el que se pronostica que con el desarrollo de las aplicaciones móviles con fines sanitarios se podrían salvar más de un millón de vidas en las zonas poco desarrolladas de África.

Este proyecto está enfocado en ayudar al colectivo de enfermos de EPOC (Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica) y otras enfermedades a las que le pueda ser útil. Los pacientes de esta enfermedad, sobre todo personas mayores, tienen dificultades al caminar debido a su baja funcionalidad pulmonar, por lo que es apropiado alentarles a pasear ya que es conveniente para la mejoría en su enfermedad. Actualmente existen multitud de aplicaciones que llevan un conteo de los pasos del usuario, pero el problema reside en que los dolientes de esta enfermedad caminan muy despacio por lo que las aplicaciones corrientes no son capaces de contar sus pasos. De esta carencia es de donde surge la motivación para la realización de este proyecto.

El fin del proyecto ha sido la creación de un algoritmo que sea capaz de distinguir los pasos de los usuarios cuando estos caminan a baja velocidad. Para ello se han desarrollado dos aplicaciones, una técnica para tomar datos del acelerómetro presente en el smartphone y probar los diferentes cálculos que formarían el algoritmo final y una enfocada al usuario, con el algoritmo ya implementado, que se encargue de contar los pasos que efectúa el usuario y registrarlos en una base de datos.

Palabras clave: avances, mHealth, smartphone, acelerómetro, algoritmo.



Summary

During the last decades, the use of technology has increased exponentially, and this has affected all aspects of society, including health service.

The field of medicine has received significant advances in recent decades. At the end of the 70's, one of the greatest advances was made with the arrival of Computed Tomography (CT or CAT scan). In the 1980s, magnetic resonance imaging (MRI) began to be used, resulting in a much better image of the human body. In the 21st century the internet became accessible to most of the people, because of this the biomedical knowledge became accessible for most of the population, thanks to this the patients and relatives have become able to know details of the diverse medical processes. Today, it has generated what is known as "expert patient": the citizen who is informed about full health (physical, psychic and social) and management of chronic diseases (obesity, diabetes, heart diseases ...) [1].

Recently, with the invasion of smartphones in our lives we have made a new term: mobile health or *mHealth*, which refers to mobile applications related to health, thanks to them the health services can reach all the world ("*Everywhere, every time, everyone*"), as pointed out in the 2012 PwC report [2], which predicts that with the development of mobile applications with health purposes, more than a million lives could be saved in the underdeveloped areas of Africa.

This project is particularly focused on helping the collective of patients with COPD (Chronic Obstructive Pulmonary Disease) and other diseases which can be useful. Patients with this disease, especially the elderly ones, have some difficulties on walking because of their low pulmonary function, so it is appropriate to encourage them to walk as it is convenient for an improvement in their disease. Currently there are many applications that take a count of the steps of the user, but the problem is that the mourners of this disease walk very slow so these applications are not able to count their steps. From this empty is where the motivation for the realization of this project arises.

The end of this project has been the creation of an algorithm that is able to distinguish the steps of the users when they walk at low speed. Two applications have been developed: a technical application to take data from the accelerometer present in the smartphone and test the different computations that would form the final algorithm, and a user application with the algorithm already finished implemented and its function is to count steps and register them in a database.

Keywords: advances, mHealth, smartphone, accelerometer, algorithm.



Contenido

Resumen.....	2
Summary	3
1 Introducción	7
1.1 Contexto.....	7
1.2 Motivaciones.....	8
1.3 Objetivo	8
1.4 Metodología de diseño e implementación	8
1.4.1 Procedimiento	10
1.5 Estructura del documento.....	10
2. Estado del arte	12
2.1 Aplicaciones Android para registro de actividad.....	12
3 Análisis del sistema	15
3.1 Escenarios.....	15
3.1.1 Aplicación técnica. Escenario 1: Recogida de medidas.	15
3.1.2 Aplicación técnica. Escenario 2: Comprobación de algoritmo desarrollado.....	15
3.1.3 Aplicación de usuario. Escenario 3: Comprobación casual de progreso.....	15
3.1.3 Aplicación de usuario. Escenario 4: Seguimiento de actividad.	16
3.2 Análisis de requisitos.....	16
3.3 Requisitos de la aplicación técnica.....	17
3.3.1 Requisitos funcionales.....	17
3.3.2 Requisitos de datos	19
3.3.3 Requisitos de entorno	19
3.3.4 Requisitos de usuario	20
3.3.5 Requisitos de usabilidad.....	20
3.4 Requisitos de la aplicación de usuario	21
3.4.1 Requisitos funcionales.....	21
3.4.2 Requisitos de datos	22
3.4.3 Requisitos de entorno	22
3.4.4 Requisitos de usuario	22
3.4.5 Requisitos de usabilidad.....	23



4. Diseño e implementación	24
4.1 Introducción y proceso de diseño	24
4.2 Marco regulador.....	24
4.3 Elecciones de diseño	25
4.3.1 Sistema Operativo e idioma	25
4.3.2Arquitectura del sistema	25
4.3.3 Tecnologías y frameworks utilizados	25
4.3.4 Repositorios de código	25
4.4 Diseño de la interfaz móvil.....	26
4.4.1 Interfaz de la aplicación técnica	26
4.4.2 Interfaz de la aplicación usuario	29
4.5 Diseño del algoritmo de reconocimiento de pasos.....	30
4.6 Detalles de la implementación.....	33
4.6.1 Arquitectura del sistema	33
4.6.2 Base de Datos	34
4.6.3 Frameworks.....	34
4.6.4 Implementación del algoritmo en la aplicación	34
5 Evaluación	36
5.1 Pruebas de reconocimiento de pasos	36
5.2 Pruebas de falsos positivos	38
6 Gestión de proyecto	41
6.1 Ciclo de vida del desarrollo de Software.....	41
6.2 Planificación	42
6.3 Presupuesto	44
6.3.1 Recursos humanos	44
6.3.2 Recursos Materiales	44
6.3.3 Resumen de costes.....	44
6.4 Entorno socioeconómico.....	45
7 Conclusiones y futuros planes de ampliación	46
7.1 Conclusiones.....	46
7.2 Futuros planes de ampliación	47
Bibliografía	48



Anexo I – Competencias en inglés.....	50
Summary	50
1 Introduction.....	51
1.1 Context	51
1.2 Motivations	52
1.3 Objective	52
1.4 Design and implementation methodology	52
1.4.1 Procedure	54
1.5 Document structure	54
5 Evaluation.....	56
5.1 Step recognition tests	56
5.2 False positive tests	58
7 Conclusions and future expansion plans.....	61
7.1 Conclusions.....	61
7.2 Future expansion plans	62
Anexo II – Imágenes de la aplicación en inglés	63



1 Introducción

1.1 Contexto

Debido al aumento que ha sufrido el uso de la tecnología, los dispositivos y nuestras costumbres han cambiado. Estos avances también han llegado al mundo de la sanidad, y España como un país que cuenta con un sistema sanitario que se encuentra entre los diez mejores del mundo según la OMS [3], debe afrontar el reto de incorporar el uso de las nuevas tecnologías a su sistema sanitario.

Según los estudios del IMS Institute for Healthcare Informatics [4] las apps de salud y medicina son ya más de 97.000, conformando así la tercera categoría con más crecimiento (después de juegos y utilidades). Este estudio también detalla que el setenta por ciento de estas aplicaciones están pensadas para el público general y se encuentran en el campo del ejercicio y el bienestar físico. El treinta por ciento restantes están diseñadas para el sector sanitario y pacientes. En este grupo podemos encontrar aplicaciones informativas, de instrucciones y de registrar datos, que es el grupo que nos concierne, entre otras.

Una aplicación *mHealth* trae con ella cinco notables cambios en el paradigma de la sanidad [1].

El primero de ellos: empoderamiento del paciente, se busca que él tenga un comportamiento activo en el tratamiento y la seguridad de su enfermedad, las aplicaciones móviles pueden ayudarnos en esto facilitando información de calidad y facilitando la transmisión de experiencias.

Segundo: modificar los hábitos del usuario para beneficiar a su salud (ejercicio, dieta, dejar de fumar...) a través de técnicas como la “gamificación”, la cual incorpora elementos derivados de los juegos (niveles, puntos, premios...) con lo que anima al usuario durante el proceso de cambio de conducta.

Tercer punto: cambio de las relaciones y procesos. La comunicación médico-paciente y el tratamiento de las enfermedades, sobre todo las crónicas, se ven facilitadas ya que el paciente mediante el uso de la aplicación puede ir incorporando diversos datos de manera periódica en cualquier momento y lugar, lo que permite un fácil seguimiento por parte del médico. A parte, las aplicaciones sanitarias también permiten una mejor gestión sanitaria (citas, historial médico...), así como el ahorro de costes lo que acabará implicando una mejora de la calidad asistencial.

Cuarto: monitorización de datos. Gracias a la incorporación de todo tipo de sensores (acelerómetro, GPS, cámara...) y de nuevos dispositivos (pulseras de actividad, smartwatches...) es más sencillo el registro de parámetros físicos que indican el estado de salud de cada usuario de forma totalmente personalizada.

Quinto, y último: almacenamiento inteligente de datos. Los smartphones cuentan con una capacidad para operar con datos totalmente nueva en la sanidad, lo que abre una perspectiva formidable para alcanzar una información muy útil en el uso de estadísticas. Según estudios las aplicaciones *big data* en el campo de la salud pueden suponer un beneficio de 250.000 millones de euros en el sector de sanitario europeo [5].

1.2 Motivaciones

La principal motivación de este proyecto es contribuir al campo sanitario mediante una aplicación sencilla e intuitiva que sea capaz de contar los pasos a baja velocidad y llevar un historial de actividad de los usuarios.

Se ha notado una carencia de aplicaciones que cuenten pasos a baja velocidad de manera precisa, desarrollar una puede ser de gran utilidad para el seguimiento de la actividad de pacientes que, debido a su enfermedad, su capacidad de movimiento sea reducida.

1.3 Objetivo

Desarrollar un algoritmo con el que recibiendo datos del acelerómetro sea capaz de distinguir los pasos del usuario cuando este camina a baja velocidad. Para ello se desarrollarán dos aplicaciones. Una aplicación técnica que grabe los datos recogidos y se puedan exportar de manera sencilla para trabajar con ellos en otro entorno, y que además sea capaz de leer los datos recogidos anteriormente para probar el algoritmo desarrollado en un entorno controlado. La segunda aplicación deberá aplicar el algoritmo con los datos que va generando el acelerómetro del smartphone y guardará un histórico de pasos en una base de datos, la cual podrá ser consultada con facilidad.

1.4 Metodología de diseño e implementación

El procedimiento seguido para el proceso de diseño se conoce como User Centered Design [6], cuya característica principal es la de atender a las necesidades de los usuarios y concentrarse en la usabilidad del diseño a desarrollar.

Este método de diseño define en cuatro puntos como debe ser una interfaz [7]:

- Debe poderse conocer fácilmente las acciones posibles en todo momento.
- Los elementos del sistema deben ser visibles: el modelo conceptual, las acciones alternativas y los resultados.
- El estado actual del sistema debe ser fácil de determinar.
- Seguir asignaciones naturales entre las intenciones y las acciones requeridas; entre las acciones y el efecto resultante y entre la información que es visible y la interpretación del estado del sistema.

Siguiendo estos puntos, el usuario se convierte en el elemento central del diseño, siendo la función del diseñador facilitar la tarea al usuario asegurándose así del que este es capaz de hacer uso del producto con el mínimo esfuerzo invertido en el proceso de aprendizaje.



Ilustración 1: Proceso de Diseño Centrado en el Usuario

1. Especificar el contexto de uso: Identificar los usuarios al que se dirige el producto, para que lo usaran y en qué condiciones.
2. Especificar requisitos: establecer los objetivos del usuario y del proveedor del producto que deberán satisfacerse.
3. Producir soluciones de diseño: se desarrolla el producto desde las primeras soluciones conceptuales hasta la solución final de diseño.
4. Evaluación: se validan soluciones de diseño (satisfacción de requisitos) y se detectan problemas de usabilidad.

El valor que aporta el diseño centrado en el usuario no es únicamente el del proceso de ejecución, sino que, también nos añade un enfoque para pensar la idea del producto, para resolver el problema estratégico de su utilidad.

1.4.1 Procedimiento

Para la primera de las aplicaciones, la aplicación técnica, se ha designado como usuarios al equipo de desarrollo, compuesto por el estudiante y el tutor. Será una aplicación que vaya tomando los datos que el equipo de desarrollo necesite en cada momento y exportándolos para que se pueda trabajar con ellos, finalmente en la misma aplicación se podrán probar los algoritmos desarrollados.

Para la segunda aplicación, la aplicación de usuario, mediante el análisis del resto de aplicaciones que llevan un historial de actividad (estado del arte) se desarrollará un prototipo del modelo de la aplicación.

1.5 Estructura del documento

Este documento está conformado por siete apartados, una sección de bibliografía y dos anexos. En el conjunto de estos bloques se enunciará el procedimiento de desarrollo del proyecto.

- *Apartado 1 – Introducción:* se puntualizan los avances que ha sufrido el campo de la sanidad relacionados con las nuevas tecnologías, resaltando la importancia de la llegada de los smartphones para así relacionarlo con el entorno en el que se desarrolla este proyecto. También se exponen las motivaciones y los objetivos del proyecto y la metodología y proceso para satisfacerlos.
- *Apartado 2 – Estado del arte:* se presenta el estudio de las aplicaciones Android disponibles (Google Play) que sean más populares para registrar actividad de los usuarios.
- *Apartado 3 – Análisis del sistema:* se detallarán los requisitos que deben de satisfacer las aplicaciones que van a ser desarrolladas, de esta manera se marcarán las pautas que se deben de seguir en los procesos posteriores de diseño y desarrollo.
- *Apartado 4 – Diseño e implementación:* se detallan los límites legales, económicos y tecnológicos que limitan el proyecto. Se mostrará también el diseño de la interfaz mostrando el camino que este ha seguido a través de diversas maquetas (esquemas de papel, mockups...).
- *Apartado 5 – Evaluación:* se analizarán y comentarán los resultados obtenidos para verificar la usabilidad del diseño y la funcionalidad de la aplicación.

- *Apartado 6 – Gestión de proyecto:* Recoge el presupuesto del proyecto, se detallan las distintas fases que este ha atravesado y el coste en recursos humanos y materiales que suponen cada una.
- *Apartado 7 – Conclusiones:* Se sintetiza el proyecto y las ideas obtenidas tras su realización.

La estructura del documento finaliza con:

- *Bibliografía:* fuentes consultadas durante la realización de proyecto.
- *Anexo I – Competencias en inglés:* introducción, objetivos, resultados y conclusiones.
- *Anexo II – Interfaz de la aplicación en inglés.*



2. Estado del arte

En este apartado serán analizadas otras aplicaciones Android disponibles cuya función sea el registro de actividad del usuario (conteo de pasos).

2.1 Aplicaciones Android para registro de actividad

La función principal de estas aplicaciones es llevar un historial de su actividad física en sus smartphones.

En las siguientes secciones serán analizadas las aplicaciones Android gratuitas de Play Store con esta funcionalidad detallando sus características y puntos fuertes.

Google Fit

La aplicación desarrollada por Google Inc. es la más popular del mercado de aplicaciones Android. Requiere la vinculación a una cuenta de Gmail para ser utilizada.

Nada más comenzar recibimos un pequeño tutorial en el que se nos informa de algunas de sus características (compatibilidad con dispositivos Android wear) y nos pide ciertos permisos: realizar un histórico de ubicaciones, acceso al GPS y permiso para encender el GPS automáticamente.

El objetivo principal de la aplicación es llevar un historial detallado de la actividad física del usuario, en primera página se muestra la información del día actual. Desde el menú puede accederse a un historial en el que se pueden ver el histórico por días, semanas y meses.

En la Tabla 1, mostrada a continuación, se recogen las ventajas y desventajas de Google Fit:

Ventajas <ul style="list-style-type: none">• Interfaz muy intuitiva y sencilla.• Historial de posiciones por geolocalización.• Posibilidad de incluir datos de otras aplicaciones (Mi Fit, Samsung Health...).• Posibilidad de crear objetivos (gamificación).
Desventajas <ul style="list-style-type: none">• No funciona caminando a velocidad baja.• Enfocada a uso principalmente deportivo (correr, bicicleta...).• No hay posibilidad de exportar los datos recogidos.

Tabla 1: ventajas y desventajas de Google Fit.

Samsung Health

La aplicación desarrollada por Samsung Electronics Co. es la segunda en popularidad del mercado de aplicaciones Android. No es necesario registrar una cuenta. Registrándola tendríamos acceso al historial de la aplicación desde otros dispositivos y a su sistema de retos con amigos y otros usuarios.

Nada más comenzar debemos aceptar sus condiciones de uso y nos informa de que es una aplicación diseñada para el deporte, no con fines médicos. También debemos aceptar que es posible que recibamos publicidad por medio de la aplicación.

En la ventana principal tenemos información básica de los pasos realizados hoy, las horas dormidas (hay que introducirlas a mano si no se dispone de un wereable de Samsung) y acceso a la ventana de retos. Estos retos se realizan a la vez con amigos y otros usuarios de la aplicación para motivar su realización (gamificación).

La ventana principal podemos añadir accesos directos a contadores de comida (introduces los que has comido y te da una aproximación de las calorías), contador de vasos de agua tomados, de cafeína ingerida, tensión arterial, etc.

En la Tabla 2 se recogen las ventajas y desventajas de Samsung Health:

Ventajas <ul style="list-style-type: none">• Interfaz muy intuitiva y sencilla.• Posibilidad de incluir datos de otras aplicaciones (Fitness, nutrición, reposo...).• Posibilidad de crear objetivos y participar en ellos con otros usuarios (gamificación).• Pantalla principal muy personalizable.
Desventajas <ul style="list-style-type: none">• No funciona caminando a velocidad baja.• Historial de pasos un poco confuso.• No hay posibilidad de exportar los datos recogidos.• Algunos elementos de la pantalla principal no se pueden quitar pese a ser esta muy personalizable.

Tabla 2: ventajas y desventajas de Samsung Health.

Runtastic

La aplicación desarrollada por la empresa homónima también se encuentra entre las más populares del mercado de aplicaciones Android. Es necesario registrarse para hacer uso de la aplicación.

En la ventana principal podemos ver un mapa con la ruta recorrida y los valores de la carrera actual, sino estamos corriendo todos estos valores están a 0. En un lateral tenemos un menú con acceso al historial, estadísticas, grupos y algunas opciones premium.

El desempeño principal de esta aplicación es registrar tus rutas y poder compartirlas en diversas redes sociales.

En la Tabla 3 se recogen las ventajas y desventajas de Samsung Health:

Ventajas <ul style="list-style-type: none">• Motivación mediante comparación de resultados con grupos y amigos.• Historial de rutas muy sencillo y con mapas de rutas.
Desventajas <ul style="list-style-type: none">• No funciona caminando a velocidad baja.• Pese a estar la aplicación en español las instrucciones por voz están por defecto en inglés.• Pantalla principal totalmente desaprovechada.• Demasiadas opciones de pago.

Tabla 3: ventajas y desventajas de Runtastic.

Del análisis de este grupo de aplicaciones se han obtenido las siguientes conclusiones:

- Todas están pensadas para realizar una actividad física avanzada: correr o caminar distancias largas, no recogen resultados caminando poco y a poca velocidad.
- Incluyen elementos de gamificación (retos, comparación con amigos) para la motivación de los usuarios.
- Las aplicaciones no contemplan exportar un historial de varios días o meses, se puede compartir en redes sociales valores de un día o una carrera.

3 Análisis del sistema

3.1 Escenarios

En este apartado serán definidos los posibles escenarios en los que un usuario usara la aplicación. En cada uno de ellos se señalarán las posibles funciones de la aplicación y sus características, lo que ayudará posteriormente a la especificación de requisitos.

3.1.1 Aplicación técnica. Escenario 1: Recogida de medidas.

En este escenario, un usuario con conocimientos avanzados en dispositivos smartphones y programación para Android se encuentra tomando medidas caminando a baja velocidad con el dispositivo móvil en el bolsillo.

Cuando finalice, el usuario exportará a su ordenador las medidas tomadas para trabajar en el desarrollo de un algoritmo que sea capaz de detectar los pasos que ha efectuado.

3.1.2 Aplicación técnica. Escenario 2: Comprobación de algoritmo desarrollado.

En este escenario tenemos al mismo usuario que en el anterior. Este, después de haber investigado con las medidas recogidas en diferentes pruebas ha desarrollado o está desarrollando un algoritmo que pueda detectar los pasos tomados en esas medidas anteriores. Por lo que introduce en la aplicación una medida tomada con anterioridad (y de la que ya sabe el número de pasos) y examina los resultados obtenidos.

3.1.3 Aplicación de usuario. Escenario 3: Comprobación casual de progreso.

El usuario, que en este escenario será una persona con conocimientos limitados en smartphones (se espera que los usuarios sean generalmente personas mayores) en cualquier momento puede acceder a la aplicación y verá en la pantalla principal el número de pasos que lleva registrados ese día pues la aplicación estará registrando sus pasos en tiempo real, aunque esté en segundo plano.

3.1.3 Aplicación de usuario. Escenario 4: Seguimiento de actividad.

El usuario en este escenario, tampoco necesitara unos conocimientos avanzados en tecnologías móviles, pero en este caso puede que no sea el usuario paciente, sino un médico realizando una comprobación de la actividad de sus pacientes.

El usuario puede meterse en el historial de actividad y comprobar los pasos registrados en los últimos días y meses. Si lo desea puede exportar estos datos.

3.2 Análisis de requisitos

Los requisitos que deberá satisfacer la aplicación se han obtenido de los cuatro escenarios presentados en el punto anterior.

Los requisitos se ordenarán según la clasificación de requisitos recogida en [9], unos de los libros estudiados durante la asignatura Ingeniería del Software.

- Requisitos funcionales (**RF**): especifican lo que el producto debe poder hacer.
- Requisitos de datos (**RD**): especifican el tipo, precisión, volatilidad y valor de los datos utilizados.
- Requisitos de entorno (**RE**): especifican el ámbito donde el producto será utilizado. Se incluyen tanto factores físicos como factores sociales.
- Requisitos de usuario (**RU**): especifican las características de los usuarios objetivos de la aplicación.
- Requisitos de usabilidad (**RUS**): especifican las posibles acciones e interacciones que debe presentar el producto.

Los requisitos vendrán mostrados en tablas como la mostrada a continuación.

Siglas del tipo de requisito – Numeración del requisito (RX-000)	
Nombre	Nombre que recibe este requisito.
Necesidad	Grado de necesidad del requisito.
Descripción	Explicación de la necesidad que cubre el requisito.
Justificación	Razonamiento del motivo de esa necesidad.

Tabla 4: Ejemplo de tabla de requisito.

3.3 Requisitos de la aplicación técnica

3.3.1 Requisitos funcionales

RF-001	
Nombre	Representación de datos del sensor.
Necesidad	Deseable.
Descripción	Mostrar datos del acelerómetro en tiempo real.
Justificación	Con el visionado de estos datos se asegura que se están tomando los datos correctamente y facilita algunas pruebas rápidas.

Tabla 5: Requisito funcional 001.

RF-002	
Nombre	Exportar datos del sensor a CSV.
Necesidad	Esencial.
Descripción	Los datos obtenidos del acelerómetro durante las pruebas obtenidas deben ser almacenadas en un fichero CSV y siempre siguiendo la misma configuración, que el usuario también conocerá.
Justificación	Exportando los resultados de las pruebas a un fichero CSV se facilita la posibilidad de trabajar con esos datos en un ordenador.

Tabla 6: Requisito funcional 002.

RF-003	
Nombre	Elección de nombre del archivo CSV.
Necesidad	Esencial.
Descripción	El usuario debe poder elegir el nombre que se le dará al archivo CSV.
Justificación	De esta manera se facilita al usuario la organización de las pruebas que ha realizado.

Tabla 7: Requisito funcional 003.

RF-004	
Nombre	Mensaje de confirmación de escritura.
Necesidad	Deseable.
Descripción	Cuando se haya generado el archivo CSV de la prueba realizada se mostrará un mensaje de confirmación de escritura.
Justificación	Con el visionado este mensaje la aplicación gana claridad, ya que el usuario puede saber que se ha realizado el proceso sin fallos.

Tabla 8: Requisito funcional 004.

RF-005	
Nombre	Mensaje de error.
Necesidad	Esencial.
Descripción	Mostrar un mensaje de error si se produce algún fallo, y mostrar también que tipo de fallo se ha producido.
Justificación	Mediante este mensaje se da a conocer al usuario que se ha producido un fallo y el tipo de fallo, para facilitar su reparación.

Tabla 9: Requisito funcional 005.

RF-006	
Nombre	Representación de datos del sensor.
Necesidad	Deseable
Descripción	Mostrar datos del acelerómetro en tiempo real.
Justificación	Con el visionado de estos datos se asegura que se están tomando correctamente y facilita algunas pruebas rápidas.

Tabla 10: Requisito funcional 006.

RF-007	
Nombre	Configuración del tiempo de la medida.
Necesidad	Esencial
Descripción	El usuario debe poder elegir cuanto tiempo va a durar la medida.
Justificación	Antes de realizar la prueba el usuario sabe qué tiempo de movimientos quiere grabar y el tiempo que le llevará.

Tabla 11: Requisito funcional 007.

RF-008	
Nombre	Aviso de comienzo y fin de medida.
Necesidad	Esencial.
Descripción	Cuando se comience a tomar datos y cuando se acabe se avisará mediante un pitido al usuario.
Justificación	De esta manera el usuario es totalmente consciente de que ha estado haciendo durante ese tiempo, lo que le ayudara en las investigaciones que realice sobre esa prueba.

Tabla 12: Requisito funcional 008.

RF-009	
Nombre	Lectura de pruebas antiguas.
Necesidad	Esencial.
Descripción	El producto debe ser capaz de leer otras pruebas almacenadas.
Justificación	Se debe de poder leer pruebas antiguas para probar los algoritmos desarrollados.

Tabla 13: Requisito funcional 009.

RF-010	
Nombre	Mensaje de confirmación de lectura.
Necesidad	Deseable.
Descripción	Cuando se haya leído el archivo CSV de la prueba se mostrará un mensaje de confirmación de lectura.
Justificación	Con el visionado este mensaje la aplicación gana claridad.

Tabla 14: Requisito funcional 010.

RF-011	
Nombre	Elección de la prueba a leer.
Necesidad	Esencial
Descripción	El usuario puede introducir el nombre de la prueba que quiere leer.
Justificación	El usuario quiere realizar las pruebas sobre una medida anterior concreta por lo que puede seleccionarla introduciendo su nombre.

Tabla 15: Requisito funcional 011.

RF-012	
Nombre	Visualización de los resultados de las pruebas.
Necesidad	Esencial.
Descripción	Cuando se realice un test sobre una prueba antigua los resultados deben ser visibles para el usuario.
Justificación	El usuario debe comparar la salida obtenida con la salida esperada para verificar la validez del algoritmo desarrollado.

Tabla 16: Requisito funcional 012.

3.3.2 Requisitos de datos

RD-001	
Nombre	Archivos CSV.
Necesidad	Esencial.
Descripción	Las pruebas realizadas se almacenan en la memoria del smartphone en forma de archivo CSV.
Justificación	De esta manera se asegura la persistencia de los datos recogidos y se facilita su análisis ellos en un pc.

Tabla 17: Requisito de datos 001.

3.3.3 Requisitos de entorno

RE-001	
Nombre	Acceso a almacenamiento del teléfono.
Necesidad	Esencial.
Descripción	La aplicación debe ser capaz de acceder al almacenamiento del teléfono.
Justificación	La aplicación necesita permiso para escribir y leer en la memoria del smartphone.

Tabla 18: Requisito de entorno 001.



3.3.4 Requisitos de usuario

RU-001	
Nombre	Conocimientos de programación Android.
Necesidad	Esencial.
Descripción	El usuario debe tener experiencia en el uso y la programación de este sistema operativo.
Justificación	El usuario también es el desarrollador de la aplicación y deberá ir realizando cambios en ella, según vaya avanzando el desarrollo del algoritmo para contar pasos.

Tabla 19: Requisito de usuario 001.

RE-002	
Nombre	Idioma
Necesidad	Esencial.
Descripción	El usuario debe de entender el Castellano.
Justificación	La información que muestre la aplicación está escrita en Castellano.

Tabla 20: Requisito de usuario 002.

3.3.5 Requisitos de usabilidad

RUS-001	
Nombre	Sencillez de uso.
Necesidad	Esencial.
Descripción	La interfaz de la aplicación y su funcionalidad será de sencillo uso.
Justificación	El usuario no debe de invertir mucho tiempo en el aprendizaje de uso de la aplicación.

Tabla 21: Requisito de usabilidad 001.

RUS-002	
Nombre	Navegación.
Necesidad	Esencial.
Descripción	La navegación entre las distintas pantallas de la aplicación debe ser lo más sencilla posible.
Justificación	El sistema de navegación entre pantallas debe ser sencillo, claro y redundante.

Tabla 22: Requisito de usabilidad 002.

3.4 Requisitos de la aplicación de usuario

3.4.1 Requisitos funcionales

RF-101	
Nombre	Reconocimiento de pasos a baja velocidad.
Necesidad	Esencial.
Descripción	La aplicación será capaz de reconocer los pasos que efectúa el usuario caminando a baja velocidad mediante los datos obtenidos del acelerómetro que incorpora el smartphone.
Justificación	Es la característica principal de la aplicación.

Tabla 23: Requisito funcional 101.

RF-102	
Nombre	Representación de los pasos contados el día actual.
Necesidad	Esencial.
Descripción	Mostrar el número de pasos que se llevan contados el día actual.
Justificación	El usuario debe poder conocer su progreso actual.

Tabla 24: Requisito funcional 102.

RF-103	
Nombre	Historial de actividad.
Necesidad	Esencial.
Descripción	Mostrar historial con el número de pasos leídos ordenados por días o por meses.
Justificación	El usuario debe poder observar su historial de actividad.

Tabla 25: Requisito funcional 103.

RF-104	
Nombre	Elección de meses o días en el historial.
Necesidad	Esencial.
Descripción	Selección de la vista del historial: meses o días.
Justificación	El usuario, depende del momento, puede querer ver su historial agrupado en días o meses.

Tabla 26: Requisito funcional 104.

RF-105	
Nombre	Mensaje de error.
Necesidad	Esencial.
Descripción	Mostrar un mensaje de error si se produce algún fallo, y mostrar también que tipo de fallo se ha producido.
Justificación	Mediante este mensaje se da a conocer al usuario que se ha producido un fallo y el tipo de fallo, para facilitar su reparación.

Tabla 27: Requisito funcional 105.

3.4.2 Requisitos de datos

RD-101	
Nombre	Base de datos SQLite.
Necesidad	Esencial.
Descripción	Los pasos reconocidos se almacenan en una base de datos SQLite.
Justificación	De esta manera se asegura la persistencia de los datos recogidos y se permite su consulta en un futuro.

Tabla 28: Requisito de datos 101.

3.4.3 Requisitos de entorno

RE-101	
Nombre	Acceso a almacenamiento del teléfono.
Necesidad	Esencial.
Descripción	La aplicación debe ser capaz de acceder al almacenamiento del teléfono.
Justificación	La aplicación necesita permiso para escribir y leer en la memoria del smartphone.

Tabla 29: Requisito de entorno 101.

3.4.4 Requisitos de usuario

RE-101	
Nombre	Conocimientos mínimos en el manejo de smartphones.
Necesidad	Deseable.
Descripción	El usuario deberá tener una experiencia mínima en el manejo de smartphones.
Justificación	Pese a que la interfaz de la aplicación será sencilla el usuario deberá tener conocimientos básicos como el uso de botones táctiles, el scroll táctil, etc. En caso de que el usuario no los tenga, el médico encargado de su seguimiento podrá encargarse de controlar su historial de actividad.

Tabla 30: Requisito de usuario 101.

RE-102	
Nombre	Idioma
Necesidad	Esencial.
Descripción	El usuario debe de entender el Castellano.
Justificación	La información que muestre la aplicación está escrita en Castellano.

Tabla 31: Requisito de usuario 102.

3.4.5 Requisitos de usabilidad

RUS-101	
Nombre	Sencillez de uso.
Necesidad	Esencial.
Descripción	La interfaz de la aplicación y su funcionalidad será de sencillo uso.
Justificación	El usuario no debe de invertir mucho tiempo en el aprendizaje de uso de la aplicación.

Tabla 32: Requisito de usabilidad 101.

RUS-102	
Nombre	Navegación.
Necesidad	Esencial.
Descripción	La navegación entre las distintas pantallas de la aplicación debe ser lo más sencilla posible.
Justificación	El sistema de navegación entre pantallas debe ser sencillo, claro y redundante.

Tabla 33: Requisito de usabilidad 102.

4. Diseño e implementación

4.1 Introducción y proceso de diseño

La finalidad de este capítulo es explicar el proceso de desarrollo que se ha seguido durante la creación de las aplicaciones ya mencionadas.

La meta ha sido conseguir una interfaz sencilla para que usuarios no muy habituados al uso de tecnologías móviles puedan manejar la aplicación sin problemas. Para conseguir este fin se han tenido en cuenta los requisitos planteados en el capítulo anterior, ya que estos describen los escenarios en los que se utilizará la aplicación.

El diseño elegido ha intentado ser lo más simple posible para ello se han reducido el número de pantallas disponibles a dos, siendo estas lo más claras posibles.

Los distintos puntos que se verán a lo largo de este capítulo son los siguientes:

Marco regulador (4.2). Serán descritos los límites que rodean al proyecto.

Elecciones de diseño (4.3). Se argumentan las decisiones tomadas a lo largo del desarrollo.

Diseño de la interfaz móvil (4.4). Se analizan los procedimientos realizados para crear la interfaz de la aplicación.

Diseño del algoritmo de reconocimiento de pasos (4.5). Se explica el algoritmo y el proceso de creación que ha supuesto.

Detalles de implementación (4.6). Se detalla la arquitectura del sistema y de la base de datos, junto con las librerías usadas.

4.2 Marco regulador

Limitaciones legales

Según se recoge en la Ley Orgánica De protección de Datos [10], los usuarios deben ser informados de la recogida de sus datos a través de medios legítimos, y estos datos ser utilizados únicamente con la finalidad de su recogida. Esta aplicación solo recoge datos relacionados con su actividad de movimiento (pasos).

Al haberse desarrollado la aplicación en el sistema operativo Android, la licencia de desarrollo es gratuita, así como el despliegue de la aplicación siempre que se sigan los principios del Acuerdo de Distribución para Desarrolladores de Google Play [11].

Limitaciones tecnológicas

Para poder usar la aplicación, el usuario deber disponer de un smartphone con el sistema operativo Android, en su versión (4.2 o posterior) y con acelerómetro.



Limitaciones económicas

Debido a que se pretende hacer la aplicación de la forma más económica, desde el primer momento se ha planteado la idea de una aplicación que sea capaz de funcionar haciendo uso únicamente de los recursos que dispone un smartphone Android. Para ello se prescinde de un servidor en el que tener almacenados los datos de todos los usuarios y sensores externos al teléfono, como por ejemplo pulseras de actividad (*smartbands*).

4.3 Elecciones de diseño

4.3.1 Sistema Operativo e idioma

La elección del sistema operativo Android ha sido debido a su mayor número de usuarios y a que tanto el entorno de desarrollo como la publicación de aplicaciones es gratuito.

La elección de versión mínima de Android: 4.2 es debido a que es la versión más antigua que contiene el software necesario para el manejo de sensores como el acelerómetro.

La aplicación se va a desarrollar en java, debido a la experiencia del equipo de desarrollo en este lenguaje, en consecuencia, el entorno elegido para desarrollarla ha sido Android Studio. Esta herramienta es más eficiente y aporta más funcionalidades que otros competidores suyos como Eclipse. Como punto adicional, Android Studio está reconocido como framework oficial para desarrollo de aplicaciones Android.

Los lenguajes utilizados son el español y el inglés, debido a que el lugar donde se tiene pensado implantar la aplicación es en España y al gran número de usuarios que se podría llegar traduciendo la aplicación a inglés.

4.3.2 Arquitectura del sistema

Para almacenar la información recogida por la aplicación se ha utilizado una base de datos relacional SQLite, debido a que es posible el encapsulamiento de esta dentro de la aplicación. De esta manera ahorramos comunicaciones con un servidor externo que almacene los datos de los usuarios.

4.3.3 Tecnologías y frameworks utilizados

Para la exportación de datos, se ha elegido el formato CSV (*Comma Separated Values*) y se ha utilizado la librería gratuita OpenCSV [12] para leer y escribir en dicho formato.

Para trabajar con los datos del acelerómetro se han usado las librerías de Android desarrolladas para manejar los sensores del smartphone [13].

4.3.4 Repositorios de código

Para tener un control de versiones de la aplicación se ha elegido GitHub debido a ser una opción práctica y gratuita.



4.4 Diseño de la interfaz móvil

Para realizar la interfaz de la aplicación de una manera sencilla y ágil, primero se han elaborado unas ilustraciones de estas primero a mano y, a continuación, mediante software de diseño gráfico (mockups). Gracias a este planteamiento se ha podido disponer de esquemas de cómo serán las interfaces antes del proceso de desarrollo.

El diseño de las interfaces ha seguido los consejos de diseño de Android [16].

En los siguientes apartados se mostrarán las diferentes pantallas y sus esquemas además de una descripción de sus funciones. Primero se mostrarán las interfaces de la aplicación técnica, mucho menos elaboradas pues no es importante su diseño ya que su objetivo no es que la use el usuario final, si no los desarrolladores. Finalmente se presentará la aplicación usuario, que sí que tiene una interfaz más cuidada.

4.4.1 Interfaz de la aplicación técnica

Pantalla Principal



Ilustración 2: Interfaz pantalla principal – App técnica.

Esta es la pantalla que se verá cuando se abra la aplicación. Se pretende que queden claras sus funciones. Para ello se presentarán dos botones que muestren las posibles acciones: carrera y test.

Cuando se presione el botón de test deberá aparecer un cuadro de texto en el que el usuario introduzca el nombre del archivo con el que quiere realizar el test y un botón que podrá pulsar cuando haya introducido un nombre.

Pantalla Carrera

Nombre APP

Datos
Datos
Datos
Datos
Datos
Datos
Datos
Datos
Datos
Datos
Datos
Datos
Datos
Datos
Datos
Datos

nombre prueba duracion (segundos)

Comenzar Finalizar

ContadorDePasos

txtAccX
txtAccY
txtAccZ
txtGrX
txtGrY
txtGrZ
txtCalculo
txtB
txtMax1
txtCalculo

txtCMax1
textMin1

txtCMin1
txtDist

20

COMENZAR

ContadorDePasos

txtAccX
txtAccY
txtAccZ
txtGrX
txtGrY
txtGrZ
txtCalculo
txtB
txtMax1
txtCalculo

txtCMax1
textMin1

txtCMin1
txtDist

prueba12 20

FINALIZAR

Ilustración 3: Interfaz pantalla carrera – App técnica.

Si el usuario ha seleccionado la opción de carrera se le mostrará la siguiente interfaz. Como puede verse en la Ilustración 3, la mayor parte de esta pantalla está ocupada por un gran recuadro que se rellenará de datos. En este lugar irán los datos que el usuario, que también es el desarrollador, crea necesarios durante la evolución del estudio de la acelerometría en los pasos (por ejemplo, datos pertenecientes a la gravedad, aceleración lineal, máximos y mínimos, etc.).

Debajo de este recuadro de datos se encontrarán dos cajas de texto, la primera de ellas será usada para introducir el nombre que recibirá el experimento y la segunda, de tipo numérico, la duración del experimento.

Finalmente, habrá dos botones, uno para comenzar la prueba y otro para finalizarla. Mientras que la prueba no haya empezado el botón finalizar deberá estar invisible o deshabilitado y viceversa.

Pantalla Test

Nombre APP

Datos
Datos
Datos
Datos
Datos
Datos
Datos
Datos
Datos
Datos
Datos
Datos
Datos
Datos
Datos

Avanzar automático Avanzar 50 Volver

ContadorDePasos

contador: :0
Ag: :Ag
MAh20: :mediaAh20
estado: :0
contador: :0
max: :0.0
min: :0.0

AVANZAR AVANZAR 50 VOLVER

Ilustración 4: Interfaz pantalla test – App técnica.

La última pantalla de esta aplicación corresponde a la pantalla en la que se efectuaran los test cuando se quiera probar algún algoritmo de reconocimiento de pasos.

Como ya se ha mencionado antes, el equipo de desarrollo de la aplicación será el usuario de esta. En este caso, el equipo de desarrollo programara el algoritmo por dentro de la aplicación y preparara el recuadro de datos para ver los datos que consideren relevantes durante el test (valores de Ag, media Ah20, etc.).

En la parte inferior de esta pantalla se situarán tres botones. El primero de ellos para avanzar automáticamente todos los valores que contiene el experimento a probar, el segundo para avanzar solo 50, y el último para volver a la pantalla principal.

4.4.2 Interfaz de la aplicación usuario

Pantalla de inicio

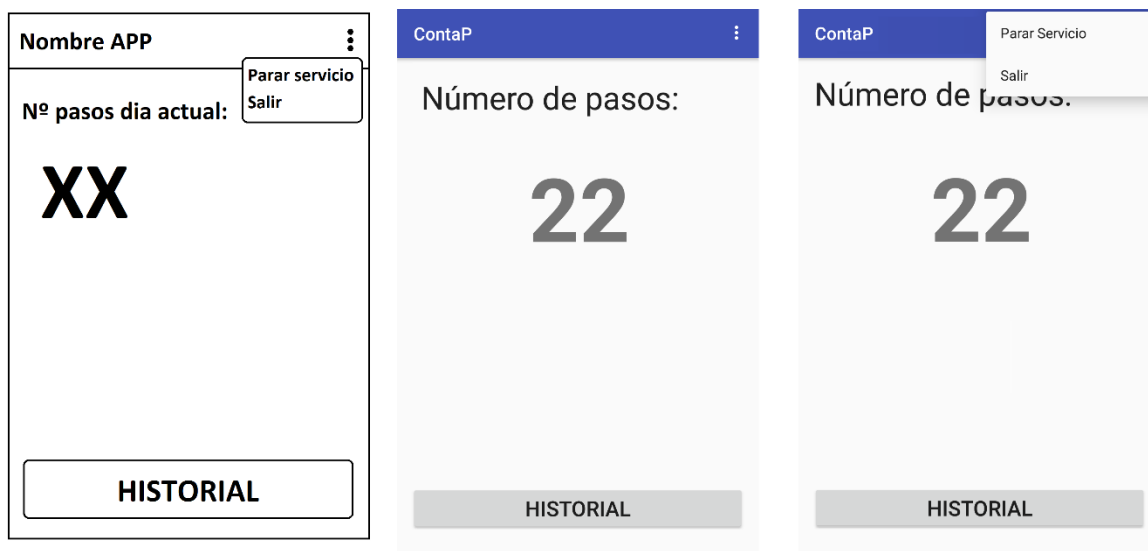


Ilustración 5: Interfaz pantalla principal - App Usuario.

La pantalla que se le mostrará al usuario según abra la aplicación será la que puede verse en la Ilustración 5. Es una pantalla simple, en ella se muestra el progreso actual del día y un botón para acceder al historial de actividad. Se ha dado especial importancia a la claridad y simplicidad situando pocos elementos en la pantalla, con un tamaño de texto grande y gran separación entre elementos.

Pantalla de historial



Ilustración 6: Interfaz pantalla historial - App Usuario.

En la ilustración 6 aparece la pantalla en la que se consulta el historial de actividad del usuario. Las funciones de esta pantalla son mostrar el historial por días o meses y exportarlo por días o meses.

Para cumplir este cometido se dispone de una lista que se rellenará con los elementos leídos de la base de datos mostrando primero los más recientes. La lista incorporará un control por scroll táctil para los casos en que los elementos leídos no cupieran en esta.

Mediante los botones incluidos el usuario podrá: cambiar a vista por mes o por día (el texto del botón también cambiará según la opción seleccionada), exportar la lista que está viendo en ese momento y volver a la pantalla principal.

4.5 Diseño del algoritmo de reconocimiento de pasos

En este apartado será descrito el algoritmo para reconocer pasos y el procedimiento que se ha seguido para desarrollarlo.

Empezamos con los datos que recibimos del acelerómetro. Estos representan la aceleración, producida por el movimiento del smartphone, interpretados en los ejes X Y Z. Esta aceleración esta mezclada con la aceleración producida por la gravedad por lo que con un filtro de paso bajo podemos aislar los datos de la gravedad y a continuación quedarnos con la aceleración lineal, es decir, la aceleración que produce únicamente el movimiento del smartphone. Este cálculo podemos verlo en la siguiente ilustración.

```
final float alpha = 0.8;

gravity[0] = alpha * gravity[0] + (1 - alpha) * event.values[0];
gravity[1] = alpha * gravity[1] + (1 - alpha) * event.values[1];
gravity[2] = alpha * gravity[2] + (1 - alpha) * event.values[2];

linear_acceleration[0] = event.values[0] - gravity[0];
linear_acceleration[1] = event.values[1] - gravity[1];
linear_acceleration[2] = event.values[2] - gravity[2];
```

Ilustración 7. Obtener aceleración lineal.

Con estos datos, realizamos una proyección vectorial de la aceleración lineal sobre las componentes de la gravedad para así aislar la aceleración que se produce sobre el eje vertical, sin importar la orientación del smartphone. Este cálculo puede verse en la siguiente fórmula, hemos llamado A_g al resultado (aceleración proyectada sobre gravedad), la aceleración lineal es A_l y la gravedad G .

$$Proy A_g = \frac{A_l \cdot G}{|G|}$$

Si realizamos una gráfica con los valores obtenidos podemos apreciar lo siguiente: los valores de la aceleración son positivos (ascendentes) luego negativos (descendentes), un impacto y repetir. Esto representa el movimiento de la pierna en la que se encuentra el smartphone, al caminar se eleva, luego desciende y al apoyarse en el suelo produce un impacto (punto B). La otra pierna también produce impactos (punto A) pero su intensidad es mucho menor en la gráfica, por lo que no nos sirve para reconocer pasos.

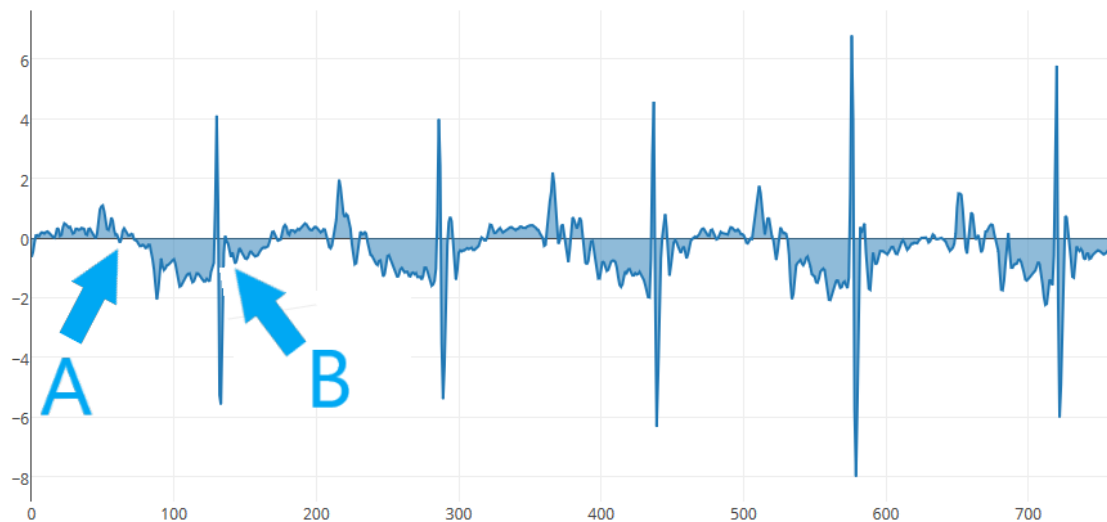


Ilustración 8. Gráfica de A_g .

A continuación, se ha calculado la aceleración producida en el plano horizontal, sin importar la dirección, y la hemos nombrado A_h .

$$|A_l|^2 = A_g^2 + A_h^2$$

Una vez despejada A_h hemos estudiado sus valores en una gráfica comparándolos con A_g .

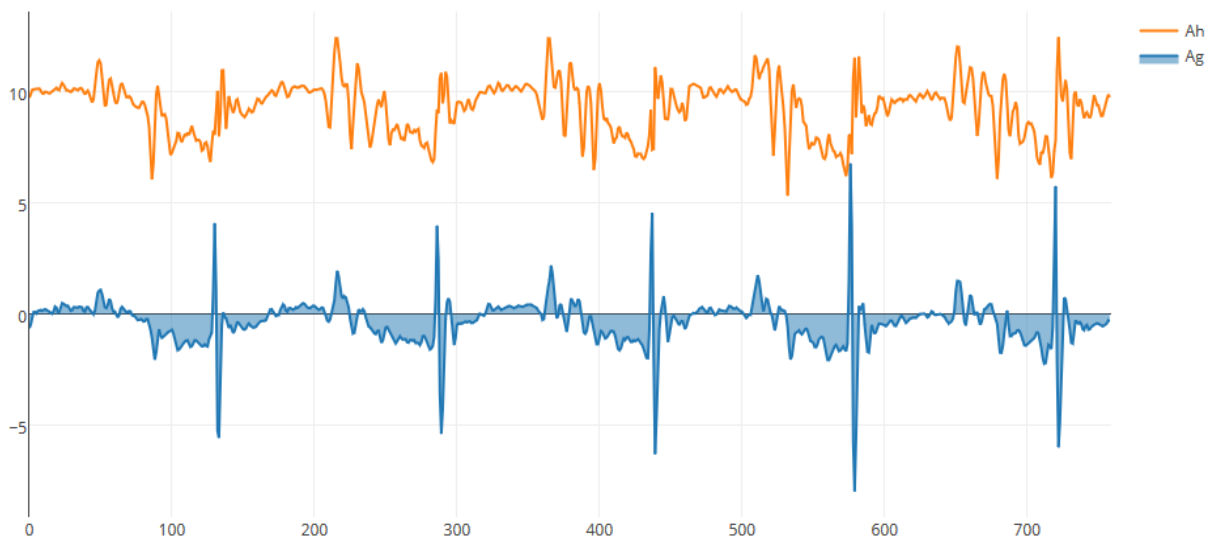


Ilustración 9: Valores de A_g y A_h .

De esta gráfica hemos podido observar que los valores de A_h realizan un patrón en los mismos intervalos que A_g . Estas repeticiones representan el movimiento horizontal que reciben los sensores. Como durante la prueba no hemos llegado a estar quietos, estos valores no han llegado a valer 0, pero podemos ver como en unos momentos tienen un valor significativamente más alto que en otros. Estos valores más altos representan cuando la pierna en la que está el smartphone es la que avanza.

A partir de estos valores, para simplificar el algoritmo de reconocimiento de pasos hemos decidido realizar en A_h una media de los últimos 20 valores (A_h20) registros para suavizar las curvas de la gráfica y que sea más fácil reconocer patrones. Los resultados obtenidos han sido los siguientes:

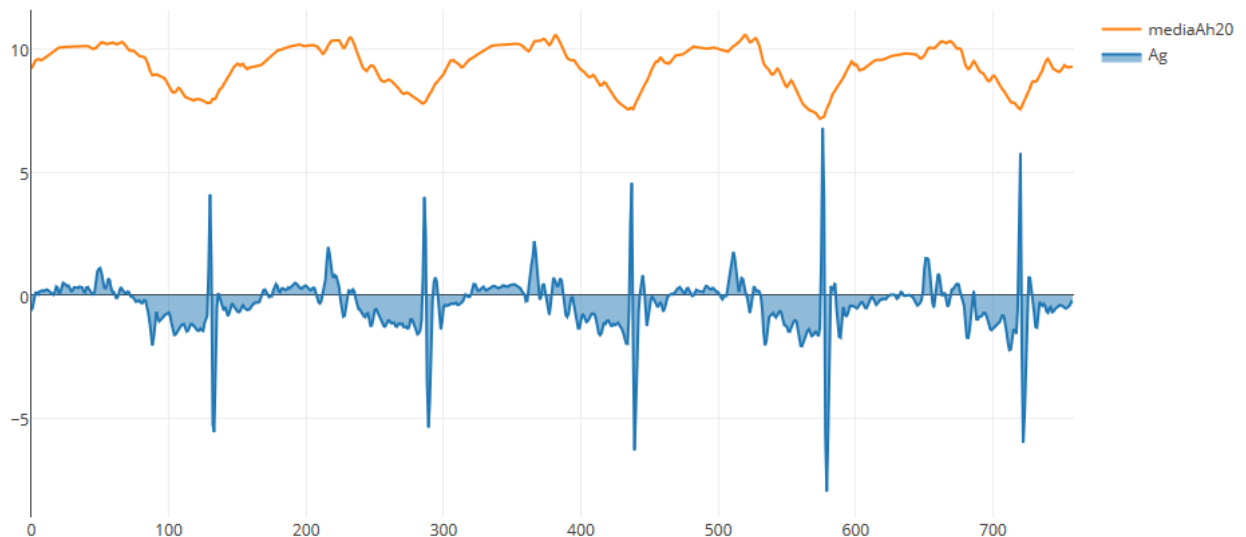


Ilustración 10: Valores de A_g y $MediaA_h20$.

Podemos apreciar que el patrón de subidas y bajadas, similar a una función senoidal, es mucho más claro que antes. Realizando esta media también hemos conseguido otra condición que nos resultara muy útil durante el algoritmo: al realizar la media hemos desplazado unas pocas posiciones a la derecha los valores de la aceleración en el plano horizontal.

Para implementar el algoritmo hemos dividido la gráfica anterior en intervalos de 25 medidas. Lo cual podemos ver en la siguiente Ilustración:

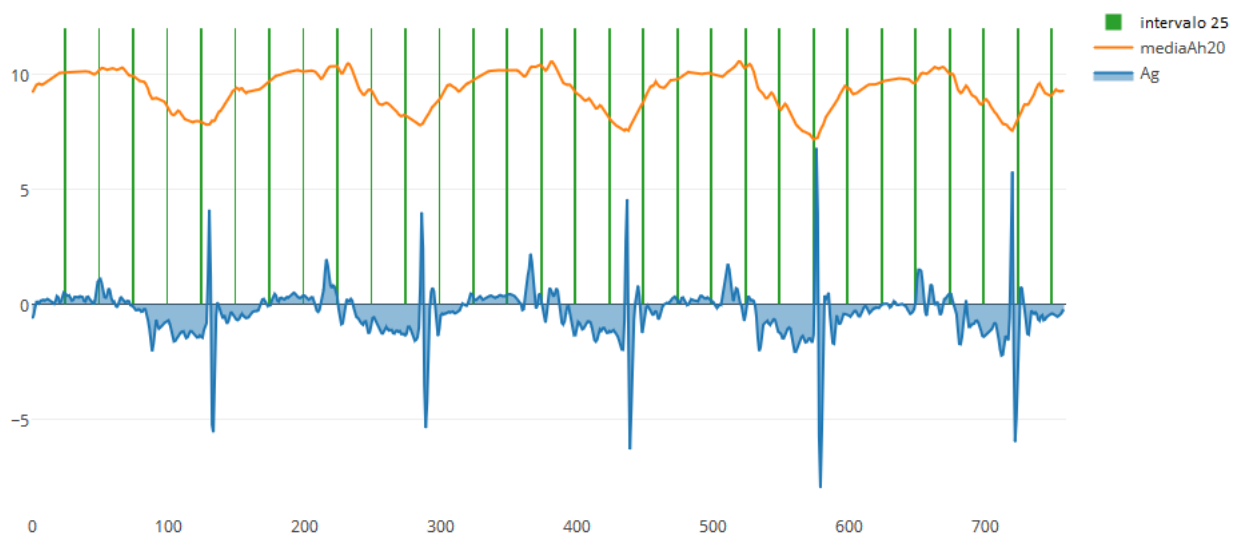


Ilustración 11: Valores de A_g y $MediaA_h20$ en intervalos de 25.

Con estos datos, el algoritmo desarrollado queda de la siguiente manera:

- Analizamos los datos que se van leyendo de A_h20 , buscamos un mínimo, es decir, un punto en el que los valores estén descendiendo hasta que los siguientes vayan ascendiendo, este punto lo tomaremos como inicio del paso. A continuación, se examinan los datos leídos de A_h20 y se corrobora que son datos ascendentes hasta llegar a un máximo, a continuación, los datos deben ser descendentes hasta volver a llegar a un mínimo. Para añadir precisión, el primer mínimo debe estar a una distancia del máximo inferior a 5 intervalos y el máximo del segundo mínimo igual. Llegados a este punto se considerará que los valores de A_h20 han confirmado un **par de pasos** (falta confirmación por los valores de A_g) y seguiremos con el estudio del posible siguiente par de pasos. Si en algún momento no se cumple alguna de las condiciones se vuelve al punto inicial.
- Mientras que se van analizando los valores de A_h20 , también se almacenan en un array de 25 posiciones los últimos valores de A_g y cuando A_h20 confirma que se ha realizado un **par de pasos** buscamos el impacto tan característico que posee la función A_g . Este impacto podemos afirmar que ya ha sucedido por el retraso que tienen los valores de A_h20 al realizar la media.

Por lo que cuando completamos un ciclo de subida y bajada con los valores de A_h20 y encontramos en los valores A_g el impacto podemos afirmar que se han producido dos pasos.

- Par de pasos: Con los valores que obtenemos de A_g podemos distinguir claramente el paso producido por la pierna en la que se encuentra el teléfono, pero el paso producido por la otra pierna no es tan claro, por eso contamos los pasos de dos en dos, en pares.

4.6 Detalles de la implementación

4.6.1 Arquitectura del sistema

La aplicación desarrollada sigue una arquitectura tipo cliente-servidor en la que para ahorrar costes las dos funciones se realizan en el mismo smartphone.

- La parte correspondiente al rol de cliente la realiza la funcionalidad de la aplicación, pues es la encargada de recoger los datos de los sensores y realizar los cálculos necesarios con ellos. Cuando la parte cliente quiere escribir nuevos datos o consultar datos antiguos se comunica con la parte servidor.
- La funcionalidad servidor estaría realizada por la base de datos SQLite, en ella la parte cliente escribe y consulta datos. Si en un futuro se llevara a cabo un despliegue de la aplicación mucho mayor (mucho más costoso) esta funcionalidad podría ser llevada por un servidor externo gracias al cual se podrían consultar los datos de los pacientes en cualquier momento sin necesidad de acceso a su smartphone.



4.6.2 Base de Datos

Como ya se ha comentado, la base de datos empleada para guardar el historial de actividad de los usuarios es una base de datos SQLite.

La base de datos simplemente consta de una tabla en la que se recogen los datos de la actividad. Esta base de datos tiene los siguientes campos: fecha y numeroPasos. Fecha es la clave primaria, cuando se inicia el servicio del contador de pasos se consulta el número de pasos ya almacenados en ese día para seguir contando, y cuando se escribe se edita el registro ya presente en la base de datos.

La base de datos también presenta una vista en la que se agrupan por meses los registros y se calcula el número total de pasos dado por mes.

Si se pretendiera centralizar el sistema con un servidor externo sería necesario crear una tabla en la que llevar un registro de la información básica de cada usuario, para poder identificarlos.

Si se pretendiera implementar un sistema de metas (gamificación) también sería necesario crear una tabla en la que dar de alta los objetivos propuestos.

4.6.3 Frameworks

Se han utilizado librerías proporcionadas por Android para el manejo de los sensores del terminal [13]. Gracias a los servicios proporcionados por estas librerías ha sido posible obtener datos del sensor de aceleración del smartphone.

Se ha utilizado la librería OpenCSV [12] para escribir y leer archivos en formato CSV de una manera cómoda y eficiente. Gracias a esto, en la aplicación técnica ha sido posible archivar los datos recogidos por el acelerómetro durante las pruebas realizadas y leerlos durante las pruebas. La aplicación usuario emplea esta librería para exportar los datos del historial de actividad.

4.6.4 Implementación del algoritmo en la aplicación

En este apartado se enumeran las consideraciones que se han tenido para que el algoritmo funcione correctamente en el entorno de la aplicación.

- El algoritmo lo maneja un servicio, de esta manera es independiente de la pantalla de la aplicación en la que se esté, de si esta minimizada la aplicación, etc.
- Para comunicarse con la pantalla principal de la aplicación, en la que se muestra el progreso actual, se envía un mensaje de tipo *Broadcast* con el número de pasos acumulados cada vez que se reconoce uno. Este mensaje también se envía cuando se inicia el servicio, de esta manera cuando se inicia la aplicación después de haberla cerrado la pantalla principal muestra el progreso del día actual en lugar de un 0.

- Siempre que se va a lanzar el servicio se comprueba que no esté ya activo, así se evita tener dos servicios ejecutándose a la vez.
- Al abrirse la aplicación se intenta lanzar el servicio.
- Lo primero que se realiza en el servicio es una lectura de la base de datos para saber cuántos pasos se han efectuado ese día. Si la respuesta de la base de datos es vacío (null), se entiende que no hay un registro en la base de datos asociado al día actual, por lo que se realiza una inserción con un valor de 0 pasos.
- Cada vez que se cierra el servicio y cuando el número de pasos actual es múltiplo de 10 se realiza una actualización del valor de pasos del día actual.
- Si la hora de la aplicación es igual a 23:59:55 se cierra el servicio. La aplicación tiene instrucciones para intentar lanzarlo a las 00:00:01. De esta manera se consigue el cambio de día en el algoritmo.
- Si se efectúa algún cambio de pantalla de la aplicación se para el servicio y se vuelve a lanzar. De esta manera el algoritmo es capaz de escribir en la base de datos el progreso actual antes de un posible cierre forzado de la aplicación.
- La aplicación presenta un botón para salir completamente de ella. Antes de salir se para el servicio.

5 Evaluación

Para comprobar el funcionamiento y la robustez del algoritmo desarrollado se han realizado una serie de pruebas. A continuación, se detallarán todas.

Durante la realización de las pruebas se han usado el smartphone 1: LG Nexus 5x (Android 7.1.2) y el smartphone 2: Bogo Lyfestyle 4QC (Android 4.2.2).

5.1 Pruebas de reconocimiento de pasos

Se van a efectuar una serie de pruebas a baja velocidad, guiadas con metrónomo, para comprobar la efectividad del algoritmo en varias situaciones: andar normal, andar a intervalos, etc.

Prueba 1: Andar a 30 pasos por minuto

En esta prueba el metrónomo marcará el tiempo y los sujetos del experimento deberán caminar 20 pasos, 10 pares, a la velocidad marcada. Los resultados obtenidos se muestran en forma de tabla.

N.º Suj	Resultado Esperado	Resultado Smartphone 1	% Acierto	Resultado Smartphone 2	% Acierto
1	10	9	90 %	10	100 %
2	10	8	80 %	10	100 %
3	10	10	100 %	9	90 %
4	10	10	100 %	10	100 %
5	10	9	90 %	10	100 %
Media		92 %		98 %	

Tabla 34: Resultado prueba 30 p/min.

Prueba 2: Andar a 35 pasos por minuto

En esta prueba el metrónomo marcará el tiempo y los sujetos del experimento deberán caminar 20 pasos, 10 pares, a la velocidad marcada. Los resultados obtenidos se muestran en forma de tabla.

N.º Suj	Resultado Esperado	Resultado Smartphone 1	% Acierto	Resultado Smartphone 2	% Acierto
1	10	9	90 %	10	100 %
2	10	9	90 %	9	90 %
3	10	9	90 %	8	80 %
4	10	10	100 %	10	100 %
5	10	9	90 %	10	100 %
Media		92 %		94 %	

Tabla 35: Resultado prueba 35 p/min.

Prueba 3: Andar a 40 pasos por minuto

En esta prueba el metrónomo marcará el tiempo y los sujetos del experimento deberán caminar 20 pasos, 10 pares, a la velocidad marcada. Los resultados obtenidos se muestran en forma de tabla.

N.º Suj	Resultado Esperado	Resultado Smartphone 1	% Acierto	Resultado Smartphone 2	% Acierto
1	10	10	100 %	10	100 %
2	10	10	100 %	10	100 %
3	10	10	100 %	10	100 %
4	10	9	90 %	10	100 %
5	10	9	90 %	10	100 %
Media		96 %		100 %	

Tabla 36: Resultado prueba 40 p/min.

Prueba 4: Caminar a intervalos a 35 pasos por minuto

En esta prueba los sujetos del experimento deberán caminar 10 pasos (5 pares) hacer una parada y volver a caminar 10 pasos. Esta prueba se realizará a una velocidad de 35 pasos por minuto marcados por un metrónomo. Los resultados obtenidos se muestran en forma de tabla.

N.º Suj	Resultado Esperado	Resultado Smartphone 1	% Acierto	Resultado Smartphone 2	% Acierto
1	10	9	90 %	10	100 %
2	10	10	100 %	9	90 %
3	10	10	100 %	10	100 %
4	10	10	100 %	10	100 %
5	10	9	90 %	10	100 %
Media		96 %		98 %	

Tabla 37: Resultado prueba caminar a intervalos.

Prueba 5: Caminar rápido

En esta prueba los sujetos del experimento caminarán 20 pasos a 80 pasos por minuto. Los resultados obtenidos se muestran en forma de tabla. La aplicación no está concebida para contar pasos a velocidades altas, lo que justifica los malos resultados.

N.º Suj	Resultado Esperado	Resultado Smartphone 1	% Acierto	Resultado Smartphone 2	% Acierto
1	10	3	30 %	2	20 %
2	10	1	10 %	2	20 %
3	10	2	20 %	4	40 %
4	10	2	20 %	2	20 %
5	10	4	40 %	3	30 %
Media		24 %		26 %	

Tabla 38: Resultado prueba subir escaleras.

Resultados pruebas de reconocimiento de pasos

N.º Prueba	% Acierto Smartphone 1	% Acierto Smartphone 2	Media Total
1	92 %	98 %	95 %
2	92 %	94 %	93 %
3	96 %	100 %	98 %
4	96 %	98 %	97 %
Media	94 %	97.5 %	95.75 %

Tabla 39: Media de los resultados de las pruebas de reconocimiento de pasos.

Como puede verse en la tabla, los resultados obtenidos son siempre mayores del 90 % teniendo una media de 95.75 %, con lo cual podemos validar la eficacia del algoritmo desarrollado.

5.2 Pruebas de falsos positivos

Durante estas pruebas se realizarán diversos movimientos para comprobar si la aplicación los confunde con pasos.

Movimientos Verticales

Con el móvil en la mano, se realizarán 10 movimientos verticales para comprobar si la aplicación cuenta alguno de ellos como paso.

Suj #	Peor Resultado	Resultado Smartphone 1	% Acierto	Resultado Smartphone 2	% Acierto
1	10	0	100 %	0	100 %
2	10	0	100 %	0	100 %
3	10	0	100 %	0	100 %
4	10	0	100 %	0	100 %
5	10	0	100 %	0	100 %
Media		100 %		100 %	

Tabla 40: Resultados prueba movimientos verticales.

Movimientos Horizontales

Con el móvil en la mano, se realizarán 10 movimientos horizontales para comprobar si la aplicación cuenta alguno de ellos como paso.

Suj #	Peor Resultado	Resultado Smartphone 1	% Acierto	Resultado Smartphone 2	% Acierto
1	10	0	100 %	0	100 %
2	10	0	100 %	0	100 %
3	10	0	100 %	0	100 %
4	10	0	100 %	0	100 %
5	10	0	100 %	0	100 %
Media		100 %		100 %	

Tabla 41: Resultado prueba movimientos horizontales.



Movimientos Circulares

Con el móvil en la mano, se realizarán 10 movimientos circulares para comprobar si la aplicación cuenta alguno de ellos como paso.

Suj #	Peor Resultado	Resultado Smartphone 1	% Acierto	Resultado Smartphone 2	% Acierto
1	10	0	100 %	0	100 %
2	10	0	100 %	0	100 %
3	10	0	100 %	0	100 %
4	10	0	100 %	0	100 %
5	10	0	100 %	0	100 %
Media		100 %		100 %	

Tabla 42: Resultado prueba movimientos circulares.

En la primera realización de esta prueba el número de falsos positivos era muy elevado, por lo que se grabaron los resultados mediante el uso de la aplicación técnica y se vio lo siguiente:

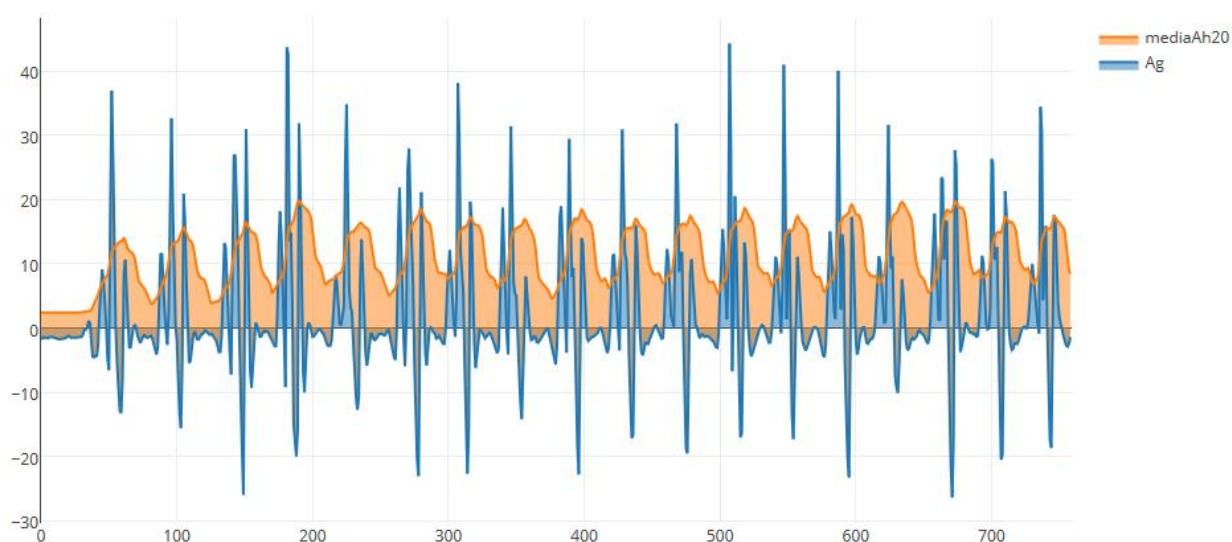


Ilustración 12: Valores de Ag y Ah20 durante un movimiento circular

Como puede verse en la Ilustración 12, los datos recibidos presentan unos valores muy similares a los valores que identificamos como par de pasos: valores similares a una función senoidal en Ah20 y en cada repetición de esta el impacto en Ag.

También puede verse que la principal diferencia de los valores obtenidos y lo que deberíamos considerar un paso, es el gran incremento de los valores en el eje horizontal (Ag). Por lo que teniendo un mayor control sobre la dimensión de los valores en este eje hemos mejorado el algoritmo consiguiendo eliminar estos falsos positivos.

Sentarse y levantarse

Con el móvil en el bolsillo los sujetos del experimento se sentarán y se levantarán 5 veces. Se dejará un espacio de tiempo entre cada movimiento de levantarse y sentarse, por lo que se considerará como 10 movimientos distintos.

Suj #	Peor Resultado	Resultado Smartphone 1	% Acierto	Resultado Smartphone 2	% Acierto
1	10	0	100 %	0	100 %
2	10	1	90 %	0	100 %
3	10	0	100 %	1	90 %
4	10	0	100 %	0	100 %
5	10	2	80 %	1	90 %
Media		94 %		96 %	

Tabla 43: Resultados prueba sentarse y levantarse.

Resultados pruebas de falsos positivos

N.º Prueba	% Acierto Smartphone 1	% Acierto Smartphone 2	Media Total
1	100 %	100 %	100 %
2	100 %	100 %	100 %
3	100 %	100 %	100 %
4	94 %	96 %	95 %
Media	98.5 %	99 %	98.75 %

Tabla 44: Media de los resultados de las pruebas de falsos positivos.

Como puede verse en la tabla, los resultados obtenidos son siempre mayores del 90 % teniendo una media de 98.75 %, con lo cual podemos validar la eficacia del algoritmo desarrollado frente a falsos positivos.

6 Gestión de proyecto

La gestión de proyectos es la disciplina del planeamiento, la organización, la motivación, y el control de los recursos con el propósito de alcanzar uno o varios objetivos [14]. Llevando a cabo una gestión de proyecto correcta podremos minimizar costes en recursos humanos y materiales y minimizar el impacto que puedan tener problemas ocasionados durante el desarrollo.

6.1 Ciclo de vida del desarrollo de Software

Para la realización del proyecto se ha elegido seguir el modelo de ciclo de vida en cascada [15], el cual puede verse en la Ilustración 13, mostrada a continuación.

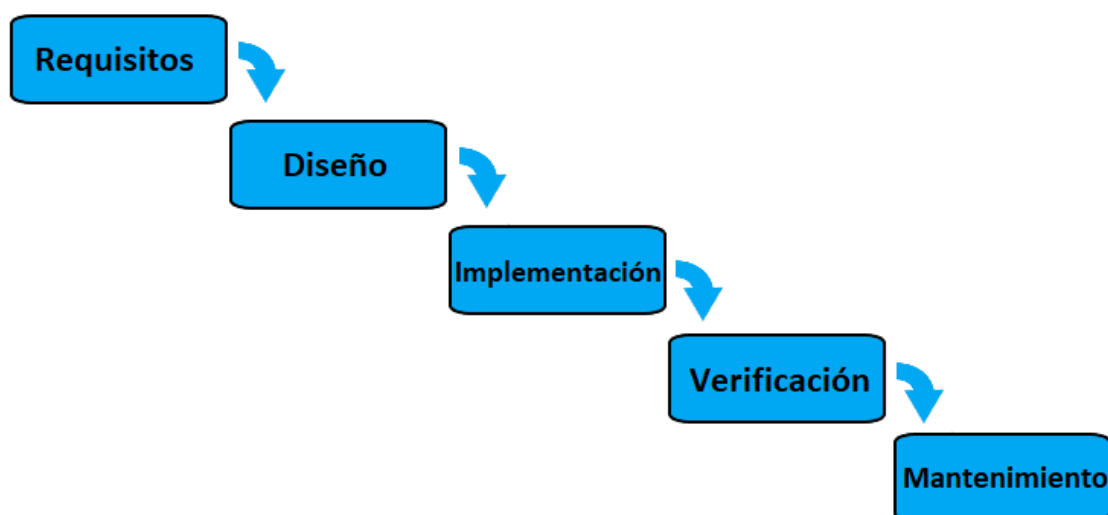


Ilustración 13: Ciclo de vida en cascada.

- **Requisitos:** Se estudian las necesidades de los usuarios para detallar los objetivos que debe de satisfacer la aplicación.
- **Diseño:** Se crea el documento de diseño del software, en el que se especifican la estructura del sistema y el fin de cada una de sus partes, además de la manera en la que se combinan todas ellas.
- **Implementación:** Se desarrolla la aplicación con las indicaciones recibidas de los puntos anteriores.
- **Verificación:** Se efectúan pruebas con los usuarios finales de la aplicación para comprobar que el sistema no falle.
- **Mantenimiento:** Puede ser que el sistema no satisfaga completamente las necesidades del usuario final o que sus necesidades cambien. Esta etapa del proceso se encarga de solucionarlo.

6.2 Planificación

El propósito de la planificación es mostrar unos plazos que sirvan de guía para que todas las tareas puedan ser completadas a tiempo y poder organizar al equipo de desarrollo.

Podemos ver la planificación propuesta en la siguiente tabla y mostrada como diagrama de Gantt en la próxima página.

Descripción de la tarea	Inicio	Fin	Total
Análisis	01-feb	14-feb	10
Estado del arte, estudio aplicaciones similares	01-feb	02-feb	2
Determinar escenarios de uso	03-feb	03-feb	1
Recogida de requisitos	06-feb	14-feb	7
Diseño	15-feb	04-may	43
Diseño arquitectura del sistema	15-feb	17-feb	3
Diseño interfaz	20-feb	23-feb	4
Diseño de la base de datos	24-feb	24-feb	1
Diseño del algoritmo de reconocimiento de pasos	9-mar	04-may	35
Vacaciones semana santa	10-abr	14-abr	5
Implementación	24-abr	31-may	27
Interfaz de la aplicación técnica	27-feb	27-feb	1
Lectura de datos del acelerómetro	28-feb	03-mar	4
Escritura de los datos leídos	06-mar	08-mar	3
Interfaz de una pantalla de pruebas	05-may	05-may	1
Lectura de datos de otras pruebas	08-may	08-may	1
Diseño y realización de las pruebas	09-may	12-may	4
Interfaz de la aplicación usuario	15-may	15-may	1
Creación de un servicio que reciba datos del acelerómetro	15-may	19-may	4
Creación, escritura y modificación de la base de datos	22-may	31-may	8
Evaluación	01-jun	09-jun	7
Diseño de pruebas	01-jun	02-jun	2
Realización de pruebas	05-jun	09-jun	5
Total			87

Tabla 45: Planificación del proyecto.

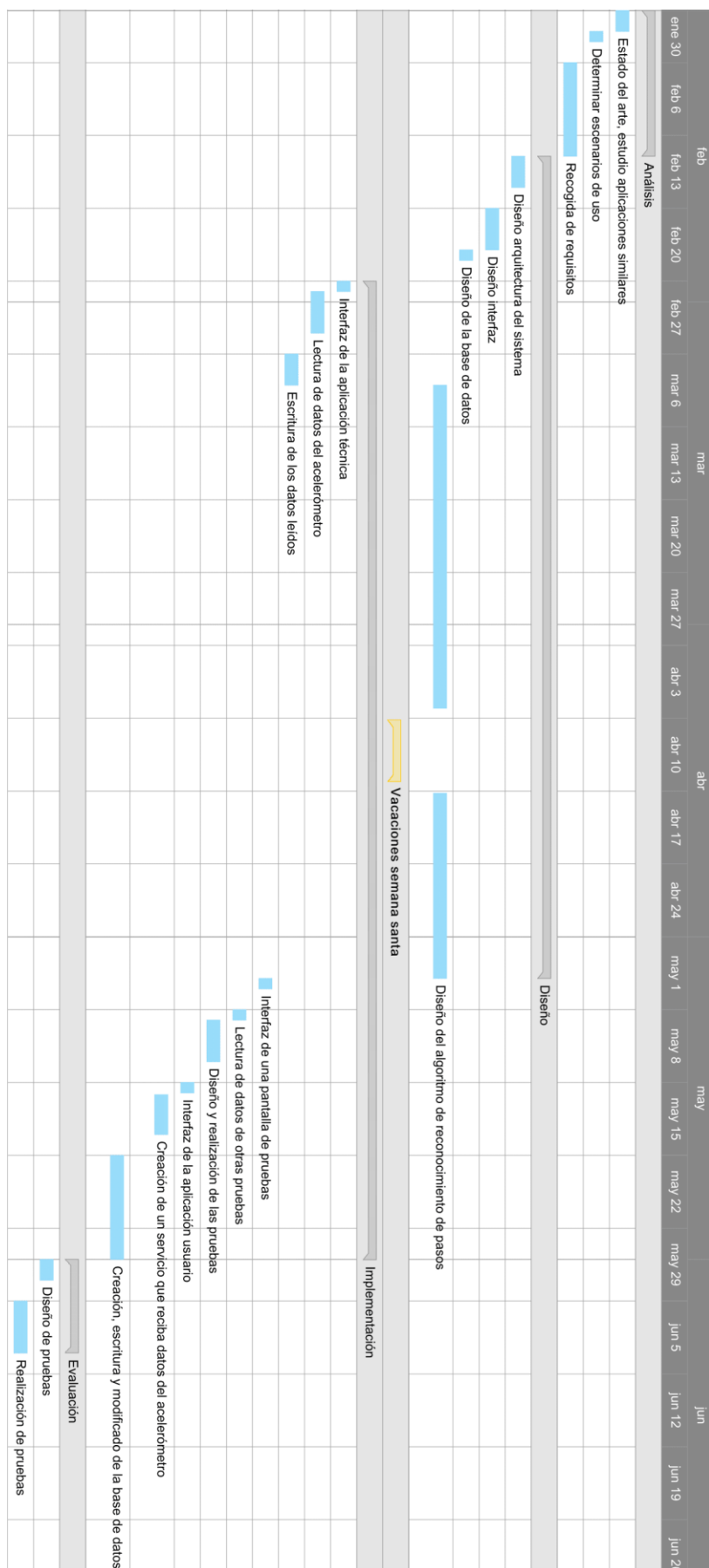


Ilustración 14: Diagrama de Gantt.

6.3 Presupuesto

El presupuesto del proyecto es extraído del análisis de los recursos humanos y materiales que son necesarios para realizar las tareas detalladas en la planificación del proyecto.

6.3.1 Recursos humanos

El cómputo total de días de trabajo son 87 días, con una dedicación de 4 horas diarias. Lo que hace un total de 348 horas de trabajo.

Podemos hacer una aproximación de que un programador Android recibe de media unos 15€ la hora de trabajo [15]. También añadimos al cálculo las horas que ha empleado el tutor como jefe de proyecto.

Concepto	N.º horas	Coste (€/hora)	Total (€)
Programador Android	348	15	5.520
Jefe de Proyecto	20	30	600

Tabla 46: Costes recursos humanos.

6.3.2 Recursos Materiales

Concepto	Unidades	Coste (€)	Depreciación (meses)	Uso (meses)	Total (€)
Hacer Aspire 550	1	500	24	4,25	88,55
LG Nexus 5X	1	300	24	4,25	53,13
Material fungible	1	400	-	-	400
Total					541,68

Tabla 47: Costes recursos materiales.

* Fórmula amortización recursos:

$$\frac{\text{Meses de uso del equipo}}{\text{Meses depreciación}} * \text{Coste} * \text{Uso (100\%)}$$

6.3.3 Resumen de costes

El coste final del proyecto es calculado mediante los costes de los apartados anteriores.

Concepto	Coste (€)
Recursos Humanos	6.1220
Recursos Materiales	541,68
Total	6.661,68

Tabla 48: Coste final proyecto.

El presupuesto total del proyecto asciende a la suma de **SEIS MIL SEISCIENTOS SESENTA Y UNO CON SESENTA Y OCHO CÉNTIMOS**, al cual se le aplicará el IVA en el momento de la facturación.



6.4 Entorno socioeconómico

En este enunciado se describe el posible impacto que pueda tener el proyecto en la sociedad tanto socialmente como económicamente.

En el apartado social, esta aplicación puede contribuir al colectivo sanitario mejorando el seguimiento de pacientes con enfermedades que dificultan su actividad física. Esto supone una ayuda tanto para los médicos, ya que les facilita su tarea de seguimiento de sus pacientes, como para el paciente en sí, ya que los resultados mostrados en la aplicación podrían de servirle de fuente de motivación para mantenerse activo.

En términos económicos el proyecto podría resultar muy atractivo porque no requiere ninguna infraestructura especial para funcionar, simplemente un smartphone Android, que a día de hoy prácticamente toda la población posee uno.

El beneficio económico que se puede obtener del proyecto reside en el sector sanitario, es decir que alguna empresa sanitaria o el sistema sanitario público compren la aplicación o encarguen una aplicación a medida empleando el algoritmo expuesto en esta aplicación.

Como último recurso, también se baraja la posibilidad de publicar la aplicación en Google Play de manera gratuita incluyendo publicidad en la aplicación para así obtener ingresos.



7 Conclusiones y futuros planes de ampliación

Para finalizar este documento se incluye este capítulo en el que expondrán las ideas obtenidas a lo largo de todo el proceso de desarrollo de la aplicación. Más adelante se presentarán los futuros planes de ampliación, es decir, los conceptos no implementados que podrían hacerse en un futuro.

7.1 Conclusiones

A través el estudio del estado del arte se pudo observar la evolución de la figura del paciente en el ámbito de la medicina. Con el paso de los años y los avances de la tecnología se ha convertido en un paciente mucho más informado e implicado en el tratamiento de su enfermedad.

De las aplicaciones estudiadas se comprobó la falta de aplicaciones de seguimiento de actividad que fueran capaces de reconocer pasos a baja velocidad, y el gran uso que se hace del concepto de gamificación para motivar a los usuarios.

Durante el proceso de desarrollo, se pudo comprobar la efectividad de definir los escenarios de uso y los requisitos, ya que esto ayudó a la planificación y el diseño de la aplicación haciendo el proceso de implementación fluyera hacia delante sin necesidad de retroceder para corregir planteamientos erróneos.

En el proceso de evaluación se ha puesto a prueba la robustez del algoritmo desarrollado con buenos resultados. En una de las pruebas (movimientos circulares) se descubrió un caso en el que el algoritmo creaba falsos positivos, pero mediante el análisis del movimiento realizado se pudo mejorar el algoritmo para evitar que estos casos se contaran como pasos.

Consiguientemente se ha entendido que la contribución de este proyecto es la de llenar un hueco en el entorno de la *mHealth*, ya que actualmente no se dispone de aplicaciones que puedan cumplir la función de esta y existen muchos pacientes y médicos que agradecerían una aplicación que les sirviera para llevar un seguimiento de su actividad física. Lo que además, también les serviría de fuente de motivación.

7.2 Futuros planes de ampliación

Debido a las limitaciones económicas que rodean a este proyecto no se han desarrollado algunas ideas que podrían considerarse útiles para la aplicación. A continuación se detallan.

- **Sistema de objetivos:** aplicar más el concepto de gamificación, que tanto se ha visto en otras aplicaciones similares, para motivar al usuario. Establecer objetivos diarios y semanales, y tener un histórico de estos. Permitir en la aplicación que se establezca una meta diaria y semanal de pasos y que cuando el usuario llegue a ella le aparezca una notificación felicitándole por haber cumplido ese objetivo. También se podría marcar en el historial los días que se ha superado la meta.
- **Servidor centralizado:** mediante la incorporación de un servidor central, la aplicación podría comunicarse con el servidor enviándole el histórico de pasos del usuario y recibiendo, por ejemplo, actualizaciones en su sistema de objetivos (nuevas metas). De esta manera el control que lleve el personal médico sería mucho más eficiente pues no necesitan acceso al smartphone del usuario para comprobar o exportar su historial de actividad, actualizar sus metas, etc.
- **Uso de sensores externos:** mediante el uso de *smartbands* se podría medir la actividad física del usuario sin necesidad de que este porte su smartphone en el bolsillo.
- **Implementación en otros sistemas operativos:** en un futuro se podría llevar la aplicación a otros sistemas operativos aumentando así el número de usuarios potenciales de la aplicación.

Bibliografía

- [1] The APP intelligence (2014). *Informe 50 mejores apps de salud en español*.
<http://www.theappdate.es/static/media/uploads/2014/03/Informe-TAD-50-Mejores-Apps-de-Salud.pdf>
- [2] PwC (2012). *Touching lives through mobile health. Assessment of the global market opportunity*.
<http://www.gsma.com/iot/wp-content/uploads/2012/03/gsmawctouchinglivessthroughmobilehealthreport.pdf>
- [3] World Health Organization (2000). *The World Health Report 2000*.
http://www.who.int/whr/2000/en/whr00_en.pdf
- [4] IMS Institute for Healthcare Informatics (2014). *Patient Apps Report*.
www.imshealth.com/deployedfiles/imshealth/Global/Content/Corporate/IMS%20Health%20Institute/Reports/Patient_Apps/IIHI_Patient_Apps_Report.pdf
- [5] Kingsley Global Institute (2011). *Big data: The next frontier for innovation, competition, and productivity*.
<http://www.mckinsey.com/business-functions/digital-mckinsey/our-insights/big-data-the-next-frontier-for-innovation>
- [6] Abras, C. M.-K. (2004). User-Centered Design. En W. Bainbridge, *Encyclopedia of Human Computer Interaction*. Sage Publications.
<http://www.e-learning.co.il/home/pdf/4.pdf>
- [7] Wikipedia. *Diseño centrado en el usuario*. Consultado 2 de Junio de 2017
https://es.wikipedia.org/wiki/Dise%C3%B1o_centrado_en_el_usuario
- [8] *Nosolousabilidad*. (s.f.). Consultado 2 de Junio de 2017
<http://www.nosolousabilidad.com/manual/3.htm>



- [9] Rogers, Y.S. (2011) *Interaction design: beyond humancomputer interaction*. John Wiley & Sons.
- [10] Boletín Oficial del Estado. (s.f.). Consultado 8 de Junio de 2017
<http://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2008-979>
- [11] Google Inc. (s.f.). *Acuerdo de Distribución para Desarrolladores de Google Play*. Consultado 3 de Junio de 2017
https://play.google.com/intl/all_es/about/developer-distribution-agreement.html
- [12] Glen Smith (s.f.) *OpenCSV*. Consultado en Febrero de 2017
<http://opencsv.sourceforge.net/>
- [13] Google Inc. (s.f.) *Librerías Android para el manejo de sensores del teléfono*. Consultado en Febrero de 2017
<https://developer.android.com/reference/android/hardware/Sensor.html>
<https://developer.android.com/reference/android/hardware/SensorEvent.html>
<https://developer.android.com/reference/android/hardware/SensorManager.html>
- [14] Wikipedia - *Gestión de Proyectos*. Consultado 10 Junio 2017
https://es.wikipedia.org/wiki/Gesti%C3%B3n_de_proyectos
- [15] JobFluent (2015) - *Guía salarial para programadores: Octubre 2015 (Barcelona)*. Consultado 10 de Junio de 2017
<https://www.jobfluent.com/blog/guia-salarial-para-programadores-barcelona-2015?lang=es>
- [16] Google Inc. (s.f.). *Design*. Consultado 10 Junio de 2017
<https://developer.android.com/design/index.html>



Anexo I – Competencias en inglés

Summary

During the last decades, the use of technology has increased exponentially, and this has affected all aspects of society, including health service.

The field of medicine has received significant advances in recent decades. At the end of the 70's, one of the greatest advances was made with the arrival of Computed Tomography (CT or CAT scan). In the 1980s, magnetic resonance imaging (MRI) began to be used, resulting in a much better image of the human body. In the 21st century the internet became accessible to most of the people, because of this the biomedical knowledge became accessible for most of the population, thanks to this the patients and relatives have become able to know details of the diverse medical processes. Today, it has generated what is known as "expert patient": the citizen who is informed about full health (physical, psychic and social) and management of chronic diseases (obesity, diabetes, heart diseases ...) [1].

Recently, with the invasion of smartphones in our lives we have made a new term: mobile health or *mHealth*, which refers to mobile applications related to health, thanks to them the health services can reach all the world ("*Everywhere, every time, everyone*"), as pointed out in the 2012 PwC report [2], which predicts that with the development of mobile applications with health purposes, more than a million lives could be saved in the underdeveloped areas of Africa.

This project is particularly focused on helping the collective of patients with COPD (Chronic Obstructive Pulmonary Disease) and other diseases which can be useful. Patients with this disease, especially the elderly ones, have some difficulties on walking because of their low pulmonary function, so it is appropriate to encourage them to walk as it is convenient for an improvement in their disease. Currently there are many applications that take a count of the steps of the user, but the problem is that the mourners of this disease walk very slow so these applications are not able to count their steps. From this empty is where the motivation for the realization of this project arises.

The end of this project has been the creation of an algorithm that is able to distinguish the steps of the users when they walk at low speed. Two applications have been developed: a technical application to take data from the accelerometer present in the smartphone and test the different computations that would form the final algorithm, and a user application with the algorithm already finished implemented and its function is to count steps and register them in a database.

Keywords: advances, mHealth, smartphone, accelerometer, algorithm.



1 Introduction

1.1 Context

Due to the increase in the use of technology, the devices and our behaviors have changed. These advances have also reached the world of health, and Spain as a country with a top ten of the world health care system according to WHO [3], must face the challenge of incorporating the use of new technologies to their health care system.

According to studies by the IMS (Institute for Healthcare Informatics) [4], health and medical apps now there are more than 97.000, making it the third-highest growth category (after games and utilities). This study also details that the seventy percent of these applications are planned for the general public and are in the field of exercise and physical well-being. The remaining thirty percent are designed for the healthcare sector and patients. In this group, we can find informative applications, instructions and record data applications, which is the group that concerns us, among others.

A *mHealth* application brings with it five notable changes in the health care paradigm [1].

The first of them: empowering the patient, the patient would become an active element in the treatment and the safety of his illness, mobile applications can help us in this by providing quality information and facilitating the transmission of experiences.

Second: to change the habits of the user to benefit their health (exercise, diet, quit smoking ...) through techniques such as "gamify", which incorporates elements derived from games (levels, points, prizes ...) that encourages the user during the behavior change process.

Third point: change of relationships and processes. Medical-patient communication and treatment of diseases, especially chronic diseases, are simplified since the patient can use the application periodically, at any time and place, to incorporate some data which allows an easy follow-up by the doctor. In addition, the sanitary applications also allow a better health management (appointments, medical history ...), as well as the cost savings end up implying an improvement in the quality of care.

Fourth: data monitoring. Thanks to the incorporation of all types of sensors (accelerometer, GPS, camera ...) and new devices (activity wristbands, smartwatches ...), it is easier to register physical parameters that register the health status of each user in a totally personalized way.

Fifth, and last: intelligent data storage. Smartphones have a huge capacity to operate data, which is new on healthcare, that opens a formidable view for reaching useful information in the analysis of statistics. According to studies the big data applications in the field of health can make a benefit of 250.000 million euros in the European health sector [5].

1.2 Motivations

The main motivation of this project is to contribute to the health field through a simple and intuitive application that can count the steps at low speed and make a history of activity of the users.

There is a lack of applications who can distinguish low speed steps. Because of this, it has become our objective to develop one application that can do this, because it will be very useful to monitor the activity of patients who due to their disease their ability to move is reduced.

1.3 Objective

It is desired to develop an algorithm which receives data from the accelerometer and can distinguish the steps of the user when he walks at low speed. Two applications will be developed for this purpose.

A technical application that records the data collected and can be easily exported to work with them in another environment, and be able to read the data collected previously to test the algorithm developed in a controlled environment.

The second application, the user app, should apply the algorithm with the data generated by the smartphone accelerometer and save a history of steps in a database, which can be easily read and exported.

1.4 Design and implementation methodology

The procedure followed for the design process is known as User Centered Design [6], whose main characteristic is to attend the needs of users and concentrate on the usability of the design to be developed.

This design method defines in four points how a design should be [7]:

- The possible actions must be easily recognizable.
- The elements of the system must be visible: the conceptual model, the alternative actions and the results.
- The current state of the system should be easy to determine.
- Follow natural assignments between intentions and required actions; between the actions and the resulting effect and between the information that is visible and the interpretation of the state of the system.

Following these points, the user becomes the central element of the design, being the function of the designer to facilitate the task to the user, thus ensuring that the user can make use of the product with the minimum effort invested in the learning process.

```
graph TD; Planificación --> EspecificarContexto[Especificar el contexto de uso]; EspecificarContexto --> EspecificarRequisitos[Especificar requisitos]; EspecificarRequisitos --> ProducirSoluciones[Producir soluciones de diseño]; ProducirSoluciones --> Evaluación; Evaluación --> EspecificarContexto; Evaluación --> EspecificarRequisitos; EspecificarContexto --> Satisface[El sistema satisface los requisitos];
```

1. Specify the context of use: Identify the users to which the product is directed, the objectives of the application and the conditions of use.
2. Specify requirements: set the objectives of the user and the supplier of the product that need to be satisfied.
3. Produce design solutions: the product is developed from the first conceptual solutions to the final design solution.
4. Evaluation: design solutions are validated (requirements satisfaction) and usability problems are detected.



1.4.1 Procedure

In the technical application, it has been designated as users the development team, composed by the student and the tutor. It's going to be an application that will take data from the accelerometer and export them in a way the development team can study them, finally in the same application it will be an interface which will allow the team to test the algorithms developed.

For the second application, the user application, analyzing the other available applications in the app market which make an activity history (state of the art) it will be developed a prototype of the application model.

1.5 Document structure

This document consists of seven sections, a bibliography section and two annexes. In the set of these blocks the project development procedure will be stated. In them will be described the process of development of the project.

- *Section 1 - Introduction:* the advances made in the field of health related to new technologies are commented, highlighting the importance of the arrival of smartphones to relate it to the environment in which this project is developed. It also outlines the motivations and objectives of the project and the methodology and process to fulfill them.
- *Section 2 - State of the art:* it presents a study of the available Android applications (Google Play) whose are more popular to record user activity.
- *Section 3 - Analysis of the system:* the requirements that the applications must fulfill are detailed, in this way the guidelines that must be followed in the following processes of design and development will be manifest.
- *Section 4 - Design and implementation:* the legal, economic and technological limits that limit the project are detailed. It will also show the interface design showing the path that has been followed through various models (paper schemes, mockups ...).
- *Section 5 - Evaluation:* the results obtained will be analyzed and commented to prove the usability of the design and the functionality of the application.

- *Section 6 - Project management:* includes the budget of the project, the different phases of the project are detailed and the cost in human and material resources that each phase entails.
- *Section 7 - Conclusions:* it summarizes the project and the ideas obtained after its realization.

The structure of the document ends with:

- Bibliography: sources consulted during the project realization.
- Annex I - Competences in English: introduction, objectives, results and conclusions.
- Annex II – App’s interface in English.



5 Evaluation

To verify the operation and the effectiveness of the developed algorithm a series of tests have been realized. All will be detailed below.

During these test, the smartphones used were: 1 LG Nexus 5x (Android 7.1.2) and 2 Bogo Lyfestyle 4QC (Android 4.2.2).

5.1 Step recognition tests

A series of low-speed, metronome-guided tests will be carried out to check the effectiveness of the algorithm in several situations: normal walking, walking at intervals, etc.

Test 1: Walk at 30 steps per minute

In this test, the metronome will mark the time and the subjects of the experiment must walk 20 steps, 10 pairs, at the marked speed. The results obtained are shown in the table.

Subject N.º	Expected Result	Result Smartphone 1	% Success	Result Smartphone 2	% Success
1	10	9	90 %	10	100 %
2	10	8	80 %	10	100 %
3	10	10	100 %	9	90 %
4	10	10	100 %	10	100 %
5	10	9	90 %	10	100 %
Average		92 %		98 %	

Table 34: Results of test 1, walking at 30 s/m.

Test 2: Walk at 35 steps per minute

In this test, the metronome will mark the time and the subjects of the experiment must walk 20 steps, 10 pairs, at the marked speed. The results obtained are shown in the table.

Subject N.º	Expected Result	Result Smartphone 1	% Success	Result Smartphone 2	% Success
1	10	9	90 %	10	100 %
2	10	9	90 %	9	90 %
3	10	9	90 %	8	80 %
4	10	10	100 %	10	100 %
5	10	9	90 %	10	100 %
Average		92 %		94 %	

Table 35: Results of test 2, walking at 35 s/m.

Test 3: Walk at 40 steps per minute

In this test, the metronome will mark the time and the subjects of the experiment must walk 20 steps, 10 pairs, at the marked speed. The results obtained are shown in the table.

Subject N.º	Expected Result	Result Smartphone 1	% Success	Result Smartphone 2	% Success
1	10	10	100 %	10	100 %
2	10	10	100 %	10	100 %
3	10	10	100 %	10	100 %
4	10	9	90 %	10	100 %
5	10	9	90 %	10	100 %
Average		96 %		100 %	

Table 36: Results of test 3, walking at 40 s/m.

Test 4: Walk at intervals at 35 steps per minute

In this test, the subjects of the experiment must walk 10 steps (5 pairs) make a stop and re-walk 10 steps. This test will be performed at a speed of 35 steps per minute marked by a metronome. The results obtained are shown in the table.

Subject N.º	Expected Result	Result Smartphone 1	% Success	Result Smartphone 2	% Success
1	10	9	90 %	10	100 %
2	10	10	100 %	9	90 %
3	10	10	100 %	10	100 %
4	10	10	100 %	10	100 %
5	10	9	90 %	10	100 %
Average		96 %		98 %	

Table 37: Results of test 4, walking at intervals.

Test 5: walk fast

In this test, the subjects of the experiment will walk 20 steps at 80 steps per minute. The results obtained are shown in the table. The application is not designed to count steps at high speeds, which justifies the poor results.

Subject N.º	Expected Result	Result Smartphone 1	% Success	Result Smartphone 2	% Success
1	10	3	30 %	2	20 %
2	10	1	10 %	2	20 %
3	10	2	20 %	4	40 %
4	10	2	20 %	2	20 %
5	10	4	40 %	3	30 %
Average		24 %		26 %	

Table 38: Results of test 5, walk fast.

Results step recognition tests

Subject N.º	% Success Smartphone 1	% Success Smartphone 2	Total Average
1	92 %	98 %	95 %
2	92 %	94 %	93 %
3	96 %	100 %	98 %
4	96 %	98 %	97 %
Average	94 %	97.5 %	95.75 %

Table 39: Average of the test recognition steps results.

As can be seen in the table, the results obtained are always greater than 90% with an average of 95.75%, which allows us to validate the efficiency of the developed algorithm.

5.2 False positive tests

During these tests, several movements will be made to check if the application confuses them with steps.

Vertical Movements

With the smartphone in hand, 10 vertical movements will be made to check if the application counts any of them as a step.

Subject N.º	Worst Result	Result Smartphone 1	% Success	Result Smartphone 2	% Success
1	10	0	100 %	0	100 %
2	10	0	100 %	0	100 %
3	10	0	100 %	0	100 %
4	10	0	100 %	0	100 %
5	10	0	100 %	0	100 %
Media		100 %		100 %	

Tabla 40: Results of vertical movements.

Horizontal Movements

With the smartphone in hand, 10 horizontal movements will be made to check if the application counts any of them as a step.

Subject N.º	Worst Result	Result Smartphone 1	% Success	Result Smartphone 2	% Success
1	10	0	100 %	0	100 %
2	10	0	100 %	0	100 %
3	10	0	100 %	0	100 %
4	10	0	100 %	0	100 %
5	10	0	100 %	0	100 %
Media		100 %		100 %	

Tabla 41: Results of horizontal movements.

Circular Movements

With the smartphone in hand, 10 circular movements will be made to check if the application counts any of them as a step.

Subject N.º	Worst Result	Result Smartphone 1	% Success	Result Smartphone 2	% Success
1	10	0	100 %	0	100 %
2	10	0	100 %	0	100 %
3	10	0	100 %	0	100 %
4	10	0	100 %	0	100 %
5	10	0	100 %	0	100 %
Media		100 %		100 %	

Table 42: Results of horizontal movements.

In the first this test the number of false positives was very high, so the results were recorded using the technical application and the following was observed:

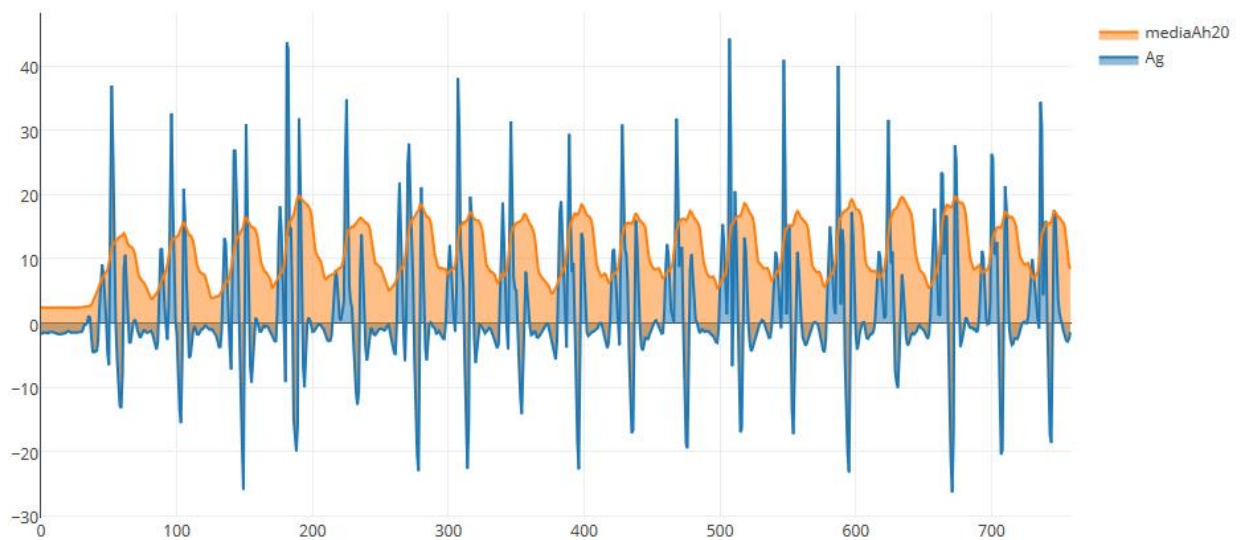


Figure 62: Ag and Ah20 values during a circular movement.

As can be seen in Figure 12, the received data have values very like the values that we identified as pair of steps: values like a sinusoidal function in Ah20 and in each repetition of this the impact in Ag.

It can also be seen that the main difference of the values obtained and what we should consider a step, is the great increase of the values in the horizontal axis (Ag). Therefore, having a better control over the dimension of the values in this axis we have improved the algorithm getting these false positives removed.

Sit and rise

With the smartphone in the pocket, the subjects of the experiment will sit and rise 5 times. There will be a space of time between each movement of sitting and rising, so it will be considered as 10 different movements.

Subject N.º	Worst Result	Result Smartphone 1	% Success	Result Smartphone 2	% Success
1	10	0	100 %	0	100 %
2	10	1	90 %	0	100 %
3	10	0	100 %	1	90 %
4	10	0	100 %	0	100 %
5	10	2	80 %	1	90 %
Media		94 %		96 %	

Tabla 43: Results of the sit and rise test.

Resultados pruebas de falsos positivos

Subject N.º	% Success Smartphone 1	% Success Smartphone 2	Total Average
1	100 %	100 %	100 %
2	100 %	100 %	100 %
3	100 %	100 %	100 %
4	94 %	96 %	95 %
Average	98.5 %	99 %	98.75 %

Tabla 44: Average of the false positives tests.

As can be seen in the table, the results obtained are always greater than 90% with an average of 98.75%, which allows us to validate the efficiency of the algorithm developed against false positives.

7 Conclusions and future expansion plans

To finalize this document this chapter is included to present the ideas obtained throughout the process of development of the application. Future enlargement plans will be presented later, that is, concepts not implemented that could be made in the future to improve the quality of the application.

7.1 Conclusions

During the study of the state of the art it was possible to observe the evolution of the figure of the patient in the field of the medical care. Over years full of advances in the technology he has become a much more informed and involved patient in the treatment of his illness.

The studied applications showed the lack of activity tracking applications that could recognize low speed steps, and also the great use of the gamification concept to motivate users.

During the development process, it was possible to verify the effectiveness of defining the use scenarios and the requirements. This helped the planning and the design of the application making the implementation process flow forward without having to go back to correct erroneous approaches.

In the evaluation process the effectiveness of the developed algorithm These tests have had good results, except for one of the tests (circular movements). During this test was discovered a movement with which the algorithm created false positives, but through the analysis of the realized movement the algorithm could be improved to avoid these cases.

Consequently, it has been understood that the contribution of this project is to fill a gap in the mHealth environment, since there aren't applications that can fulfill the function of ours and there are many patients involved in its treatment and recovery, and many doctors who would appreciate an application that would serve to keep track, and therefore a motivation for the physical activity of his patients.

7.2 Future expansion plans

Due to the economic constraints surrounding this project some ideas that could be considered useful for the application have not been developed. These are some examples:

- System of objectives: to apply more the concept of gamification, which has been seen in other similar applications, to motivate the user. Set daily and weekly goals, and have a history of these. Allow the application to set a daily and weekly goal of steps and when the user fulfill it show a notification congratulating him for having reached the goal. Also, it could be marked in the history the days that de goal was reached.
- Centralized server: by incorporating a central server, the application could communicate with the server by sending the user's step history and receiving, for example, updates to its objectives system (new goals). In this way, the control carried by medical personnel would be much more efficient because they do not need access to the user's smartphone to check or export their activity history, update their goals, etc.
- Use of external sensors: smartbands could be used to measure user activity without the need for him to be accompanied by their smartphone.
- Implementation in other operating systems: in the future, the app could be ported to other operating systems, this will increase the number of potential users of the application.

Anexo II – Imágenes de la aplicación en inglés

La aplicación además de presentarse en español, también se ha traducido al inglés al tener este un gran número de posibles usuarios.

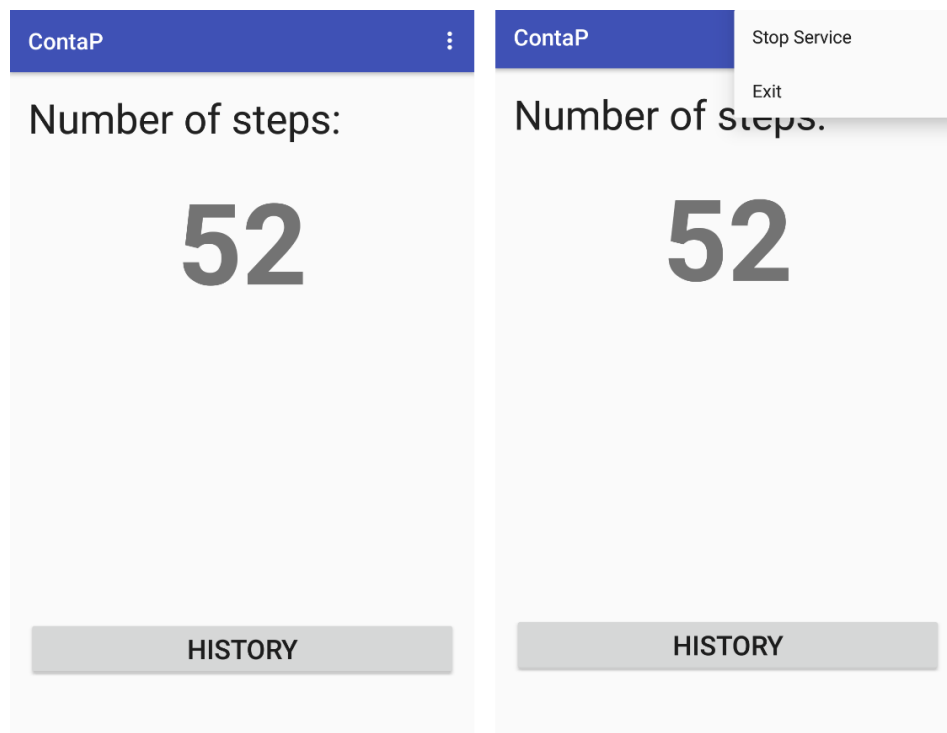


Ilustración 15: Pantalla principal app inglés.

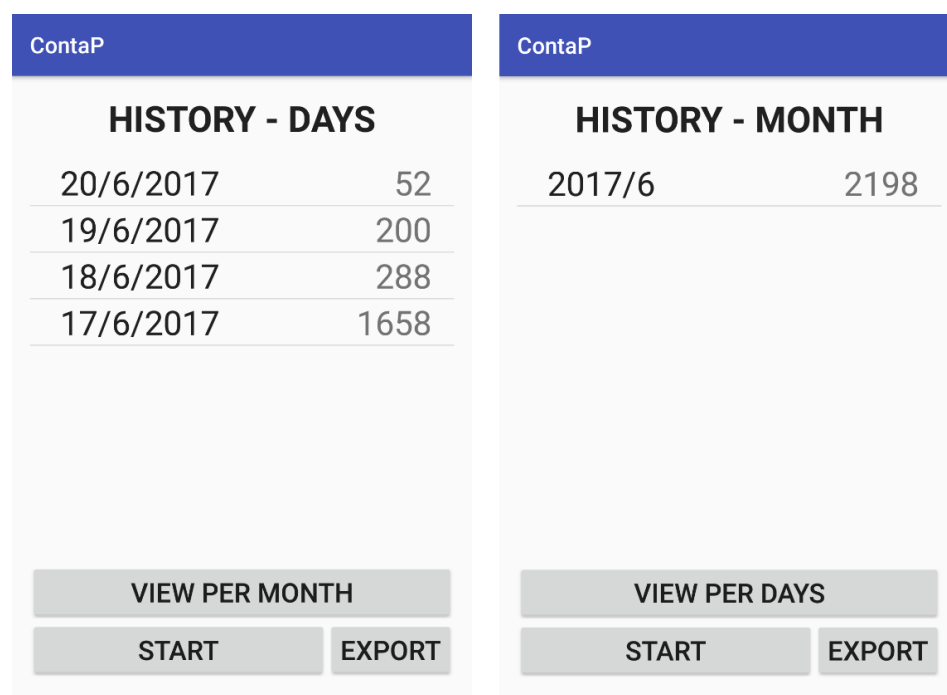


Ilustración 16: Pantalla principal app inglés.